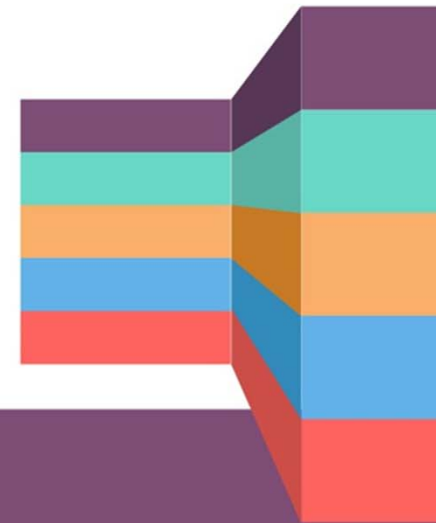


ICSC 2013

IDA J CAE Solution Conference

New Value in CAE & CFD Industry



旋转机械设计的利器——TURBOdesign介绍

IDA J
技术部

目录

- TURBOdesign简介
- TURBOdesign 5.2版本新功能介绍
- 案例介绍

什么是TURBODesign?

专业旋转机械三维反设计软件

- TURBODesign是由Advanced Design Technology (ADT) 公司开发的基于三维反问题设计方法，适用于所有旋转机械叶片设计的专业软件；

ADT公司

- ADT公司成立于1999年，由英国伦敦大学学院（UCL）与日本荏原公司合资举办；
- ADT公司总部位于英国伦敦，同时在以及全球各地设有办事处；

产品历程

1998年11月：ADT公司成立

1999年11月：TURB0design-1 1.0版本商业发行

2000年1月：TURB0design-1 1.1版本发布

2001年1月：TURB0design-1 1.2版本发布

2003年1月：TURB0design-2 beta版本发布

2003年9月：与CD adapco公司达成合作协议

2003年12月：TURB0design-1 2.0版本主要新功能发布

2005年10月：TURB0design-2商业发行

2008年5月：TURB0design 套装3.0发布

2009年4月：TURB0design套装3.1 发布

2011年6月：TURB0design套装 5.0 发布

2012年4月：TURBOdesign套装5.1发布

2013年1月：TURBOdesign套装5.2发布

TURBOdesign软件模块

核心模块：TURBOdesign-1

- 三维无粘流反问题设计软件
- 优化叶片形状，以完成实现一个指定加载
- 可以应用于所有类型的旋转机械的叶片设计

核心模块：TURBOdesign-2

- 三维粘性流反设计软件
- 优化叶片形状，以实现一个指定加载
- 特别适用于高增压比的跨音速轴流风机和压缩机的设计
- 可以很好地模拟粘性的影响并捕捉激波

TURBOdesign软件模块

其它模块：TURBOdesignCAD

- 可导入IGES格式曲面数据，生成TD专有格式叶片几何，并得到子午面、厚度分布等设计基础数据，或对TURBOdesign1的设计结果直接进行小的修改

其它模块：TURBOdesignCFD

- 专业求解旋转机械的CFD求解器

其它模块：TURBOdesign Optima

- 通过耦合反设计、CFD计算以及不同的优化模式,实现多点/多目标优化

其它模块：TURBOdesign Pre

- 用于确定各种不同旋转机械部件尺寸的一维模块，可给出子午面形状

其它模块：TURBOdesign Volute

- 基于二维反问题设计方法的涡壳设计模块

New Value in CAE & CFD Industry ICSC2013

国际客户



TURBOdesign Optima

多点/ 多目标优化



多点/多目标优化

旋转机械设计中普遍存在多目标/多点优化问题

多目标

- 效率 vs 吸入性能
- 吸入性能 vs 制造成本

多点

设计点的最大电机尺寸、效率，高于设计点时的吸入性能，失速性能

传统优化方法的困难

三维叶片的描述

- 大量的设计参数 → 大量的计算时间
- 难以确保光滑的叶片表面

设计参数指定

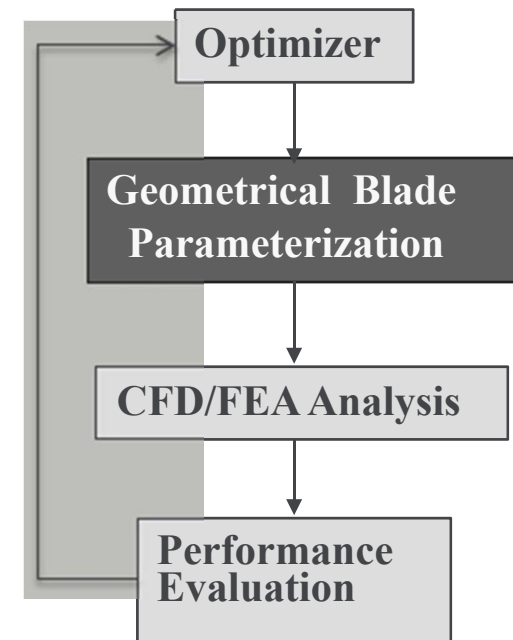
- 难以保证叶轮/扩散器的效率
- CFD计算时间的消耗限制了搜索空间

设计知识积累

- 难以创建基于优化几何的数据库
- 不适用于定制设计

这使得多目标遗传算法并不适用，因为验证大量不同的几何将意味着海量的CFD计算时间。

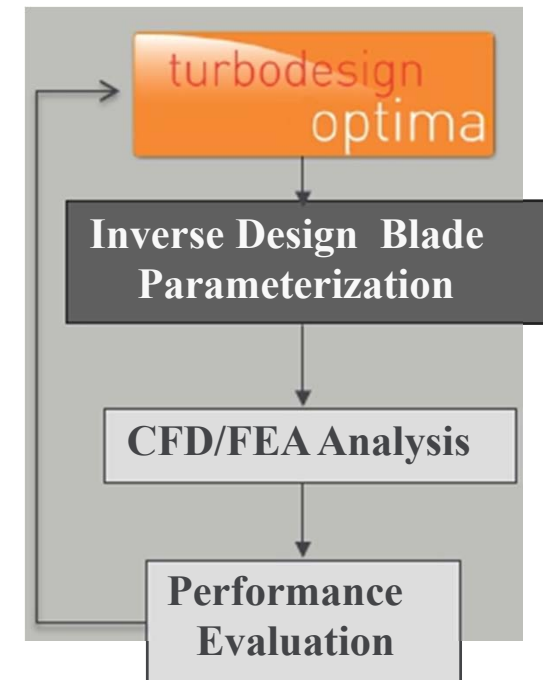
这些缺点主要来自于如何参数化叶片几何。



TURBOdesign的优化技术

使用TURBOdesign进行优化的主要优势

- 描述叶片几何所需的参数更少
- 设计参数（流量、输入功系数等）自动满足
- 优化结果可以很容易地应用于类似的设计问题



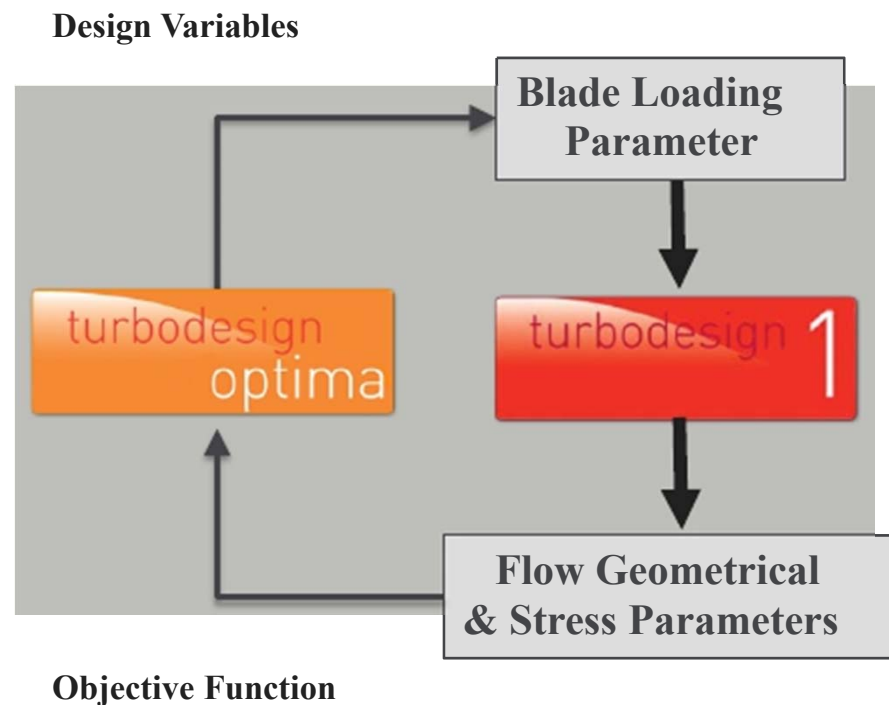
TURBOdesign Optima介绍

- **TURBOdesign Optima**可以使用反问题设计方法对旋转机械叶片进行自动多目标优化。

可以使用几种不同的优化策略，其中可以包括实验设计（**DOE**）算法。

ADT自带优化算法，也可使用其它软件的优化算法。

TURBObdesign优化流程1



单点多目标快速优化的理想方法

控制目标变量

Aerodynamic:

- Diffusion
- Endwall losses
- Profile losses
- Tip clearance loss
- Secondary flows

Geometrical:

- Lean angle
- Throat area
- LE and TE Wedge angle
- Stagger angle
- Airfoil cross section area
- Volume of blade

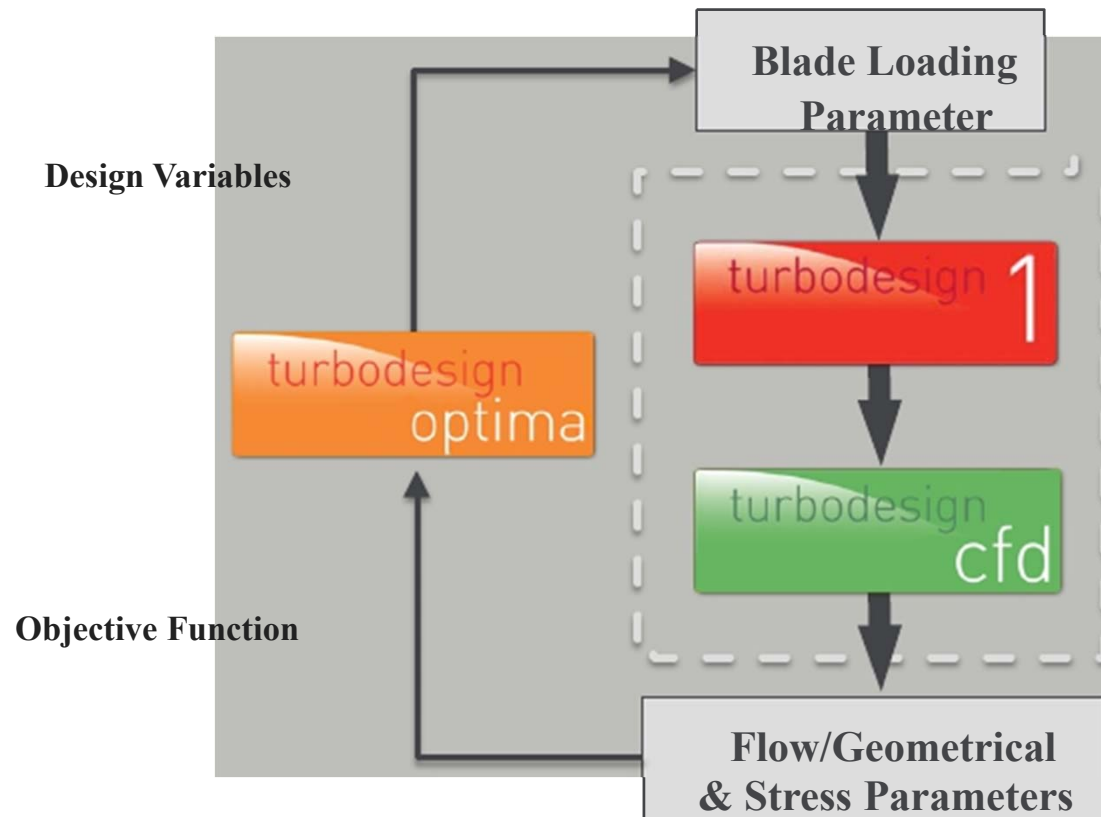
Stress:

- Centrifugal Stress
- Bending stress factor

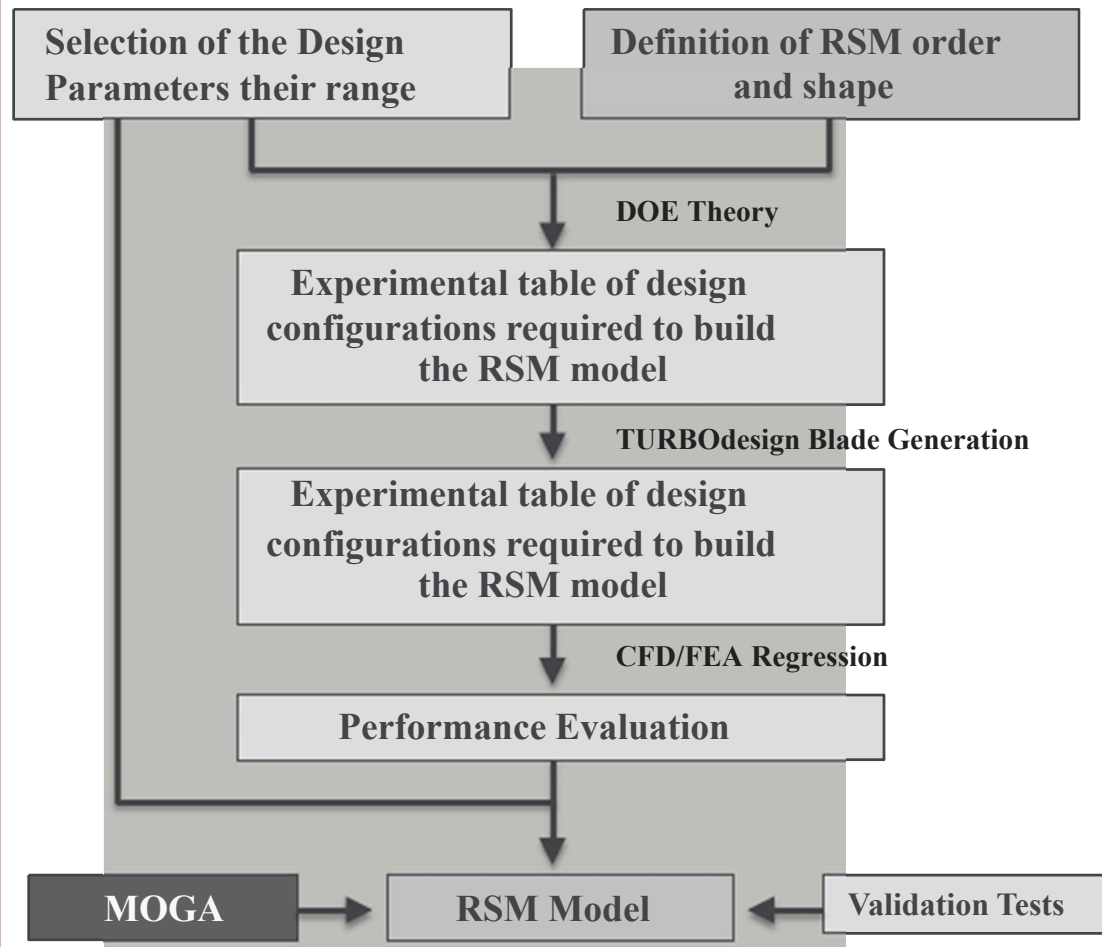
Aero-acoustic:

- Tonal Noise

TURBObdesign优化流程2



TURBOdesign优化流程3、4



多点多目标优化的理想方法

应用举例 泵：

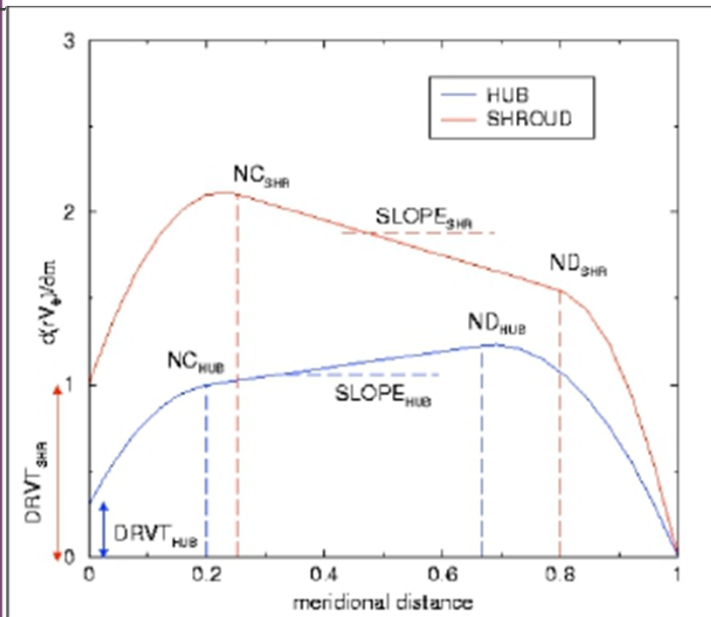
- 优良的失速性能
- 优良的多级效率
- 保证较小的关死扬程
- 高流量时得到较好的空化性能

压气机：

- 优良的效率
- 增加稳定工作范围
- 满足应力要求
- 满足振动要求

TURBOdesign优化主要优势

- 叶片参数化的独特方法
- 适用于所有叶轮机械的优化
- 可以用很少的参数探索很大的设计空间



Input Parameters

Variables	Selection	Lower	Value	Upper	Type
NCH	☐	0.1755	0.187	0.2145	Real
NDH	☐	0.2277	0.828	0.2783	Real
SlopeH	☒	-1.5	-1.091	1.5	Real
DRVT_LEH	☒	0	0.909	1.0	Real
NCS	☐	0.1755	0.172	0.2145	Real
NDS	☐	0.306	0.804	0.374	Real
SlopeS	☒	-1.5	0.818	1.5	Real
DRVT_LES	☒	0.18	0.665	1.0	Real

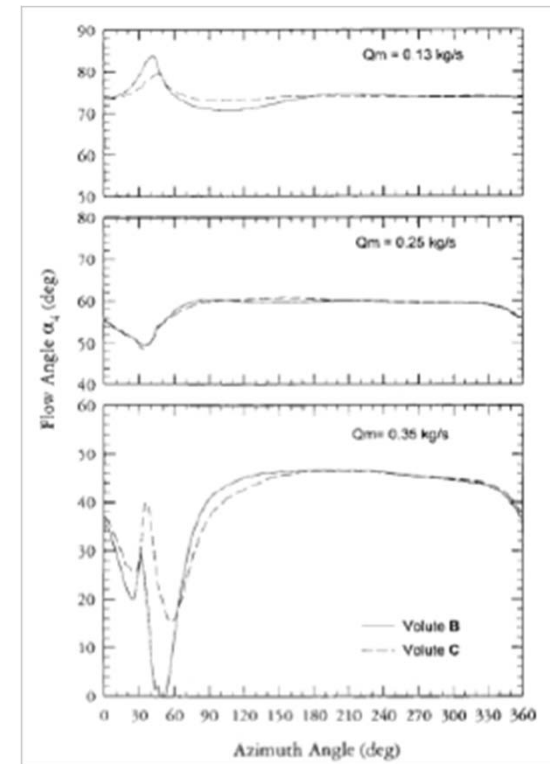
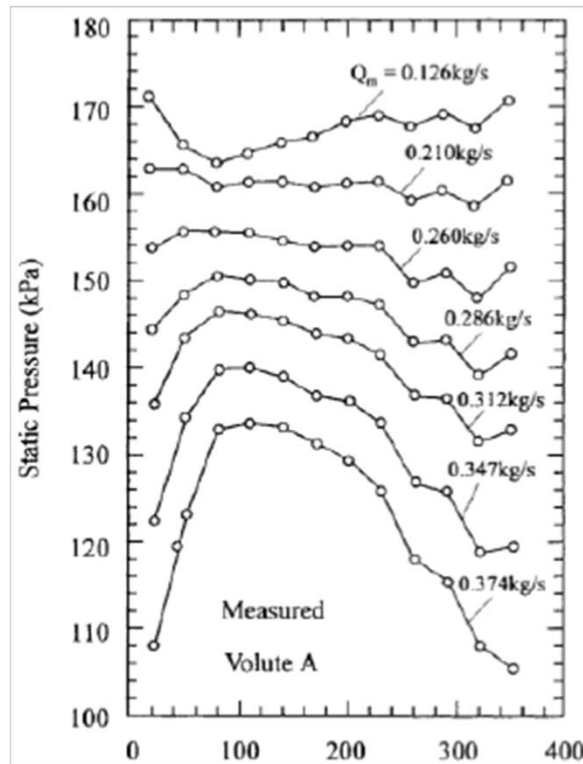
TURBOdesign Volute

涡壳设计的新方法



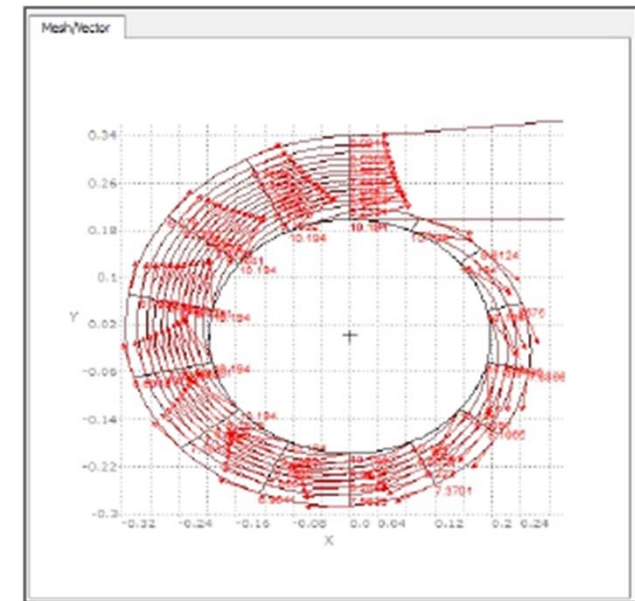
涡壳设计现状

大多数现有的蜗壳设计是基于一维方法（质量和角动量守恒），并假设在圆周上仅发生简单的面积变化。



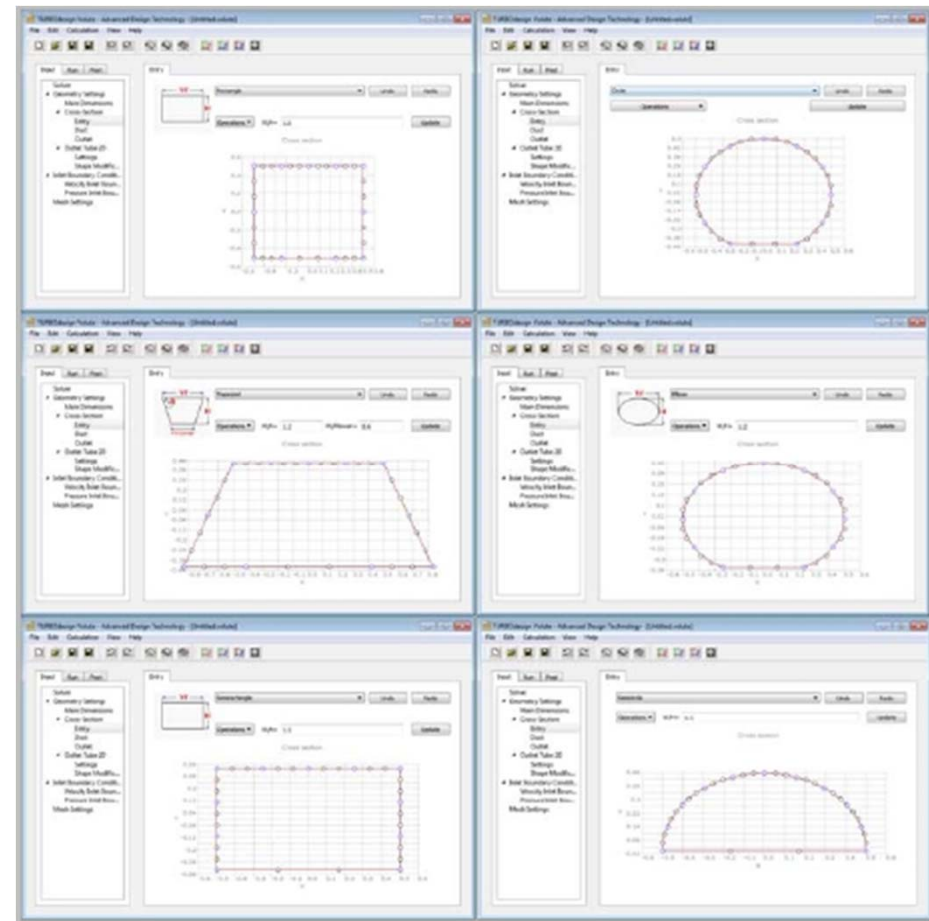
TURBOdesign Volute的特征

- TURBOdesign Volute使用基于反问题设计的二维流线法；
- 在 $r-\theta$ 平面基于一维设计信息生成初始网格；
- 指定扩散器出口（涡壳入口）的径向和切向速度变化；
- 然后通过求解流线曲率法以及质量守恒条件计算出外边界。



TURBOdesign Volute的主要特点

- 多种预先定义的横截面；
- 此外，可以通过B-样条曲线定义任意形状的横截面；
- 自动平滑几何输出，确保正确的CAD几何表面文件

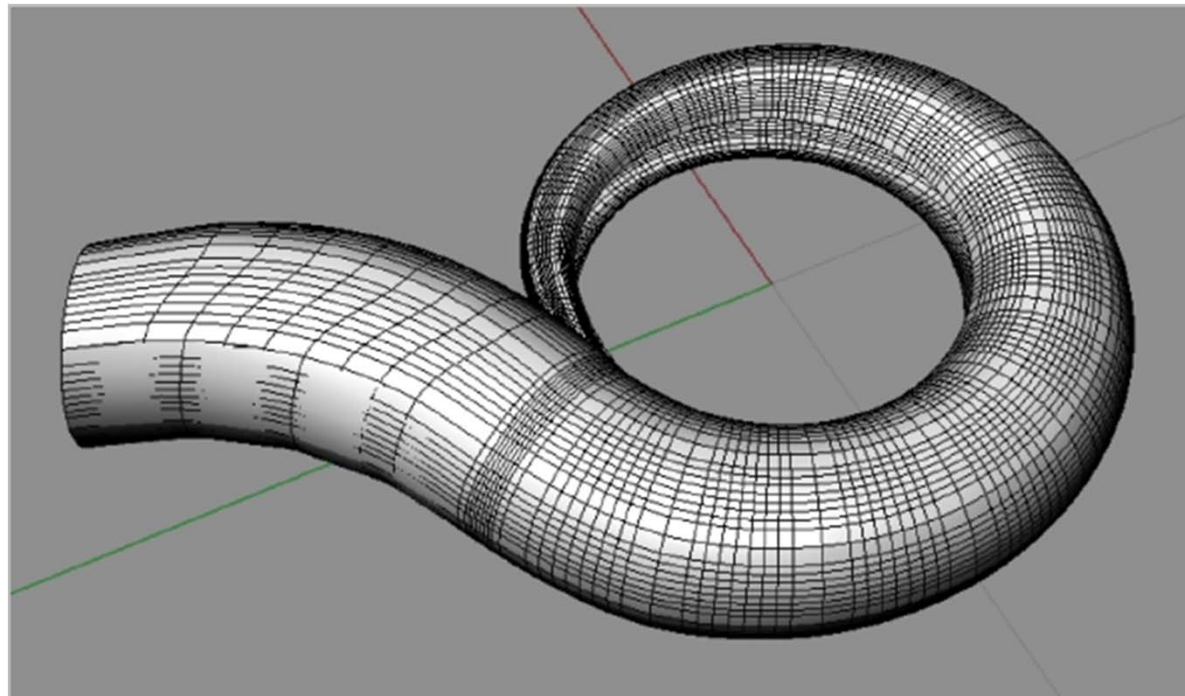


TURBOdesign Volute的主要特点

- 可以在以下位置指定不同的界面形状：
 - 蜗舌附近的过渡区
 - 主管区
 - 出口管部
- 不同的截面自动光滑过渡到一起；
- 程序可以控制扩散器管道形状（切向或径向）以及面积比；
- 可以指定蜗舌半径；

TURBOdesign Volute的主要特点

- 自动输出光滑正确的IGES表面文件



未来可以输出三维非结构化网格

TURBOdesign Volute 应用案例



离心泵

设计参数:

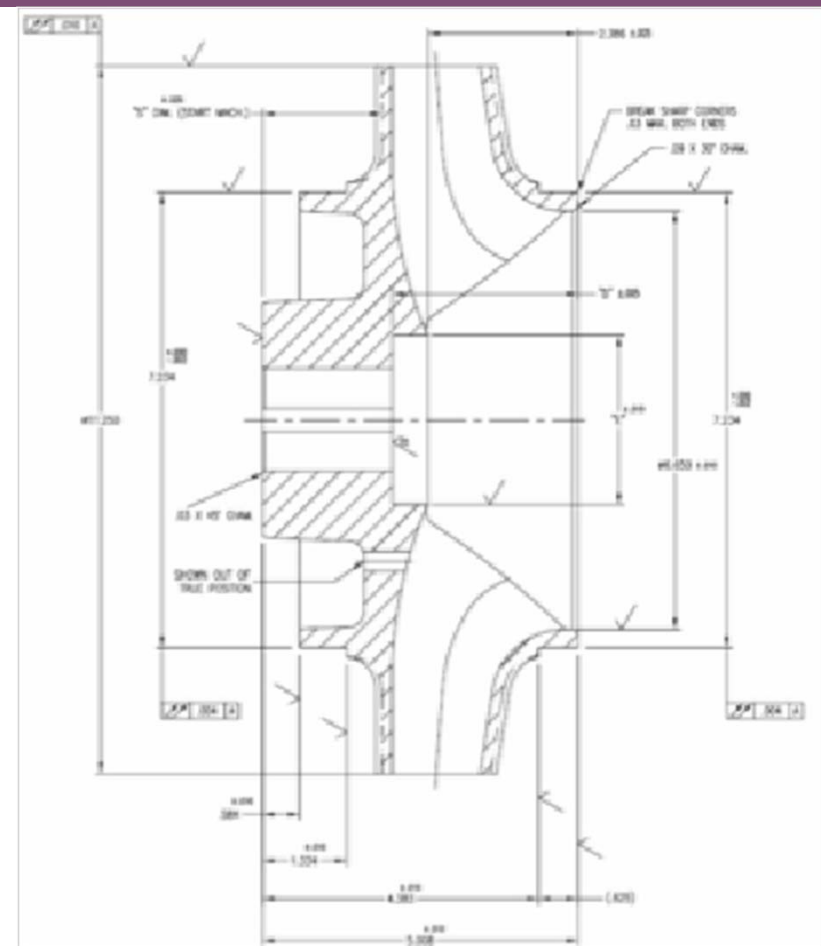
RPM: 1760

BEP: 29.718 m at 0.1 m³/s

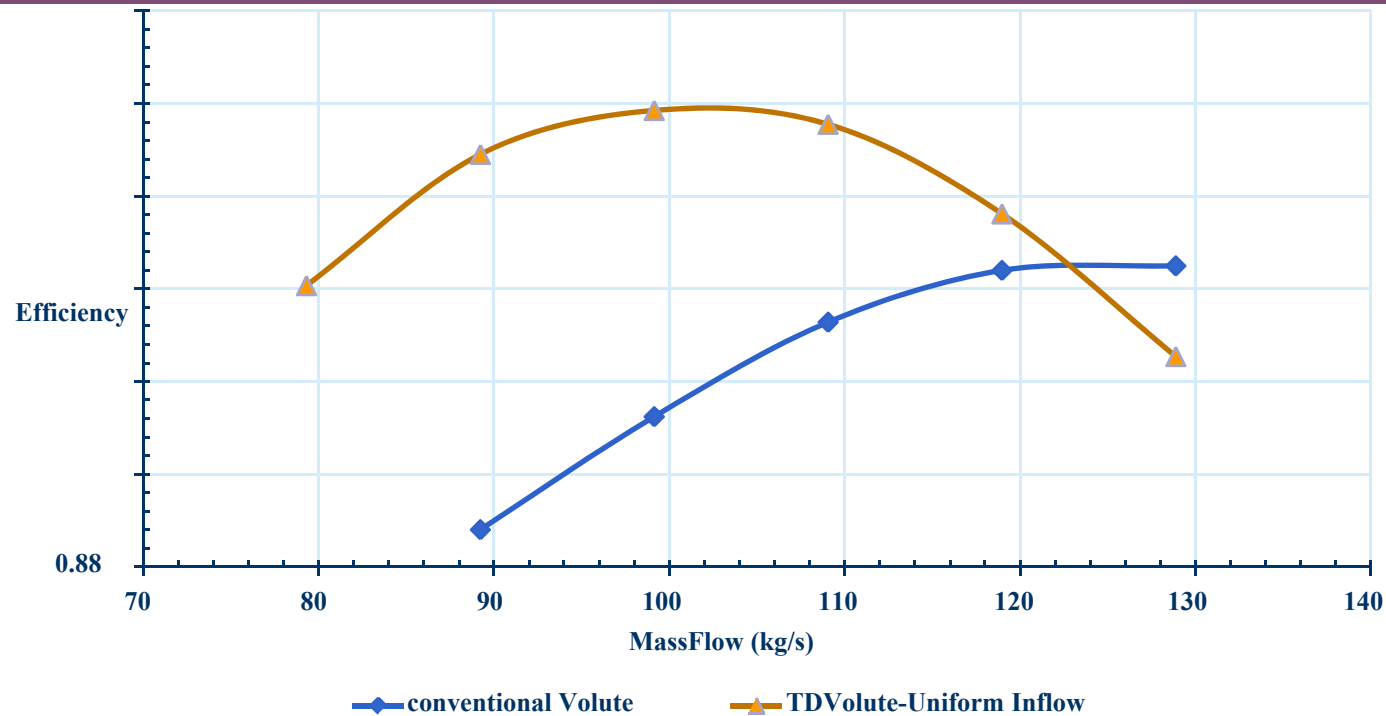
NPSHR at BEP: 5.4864 m

Max Head: 38.1 m

Max Flow: 0.16 m³/s

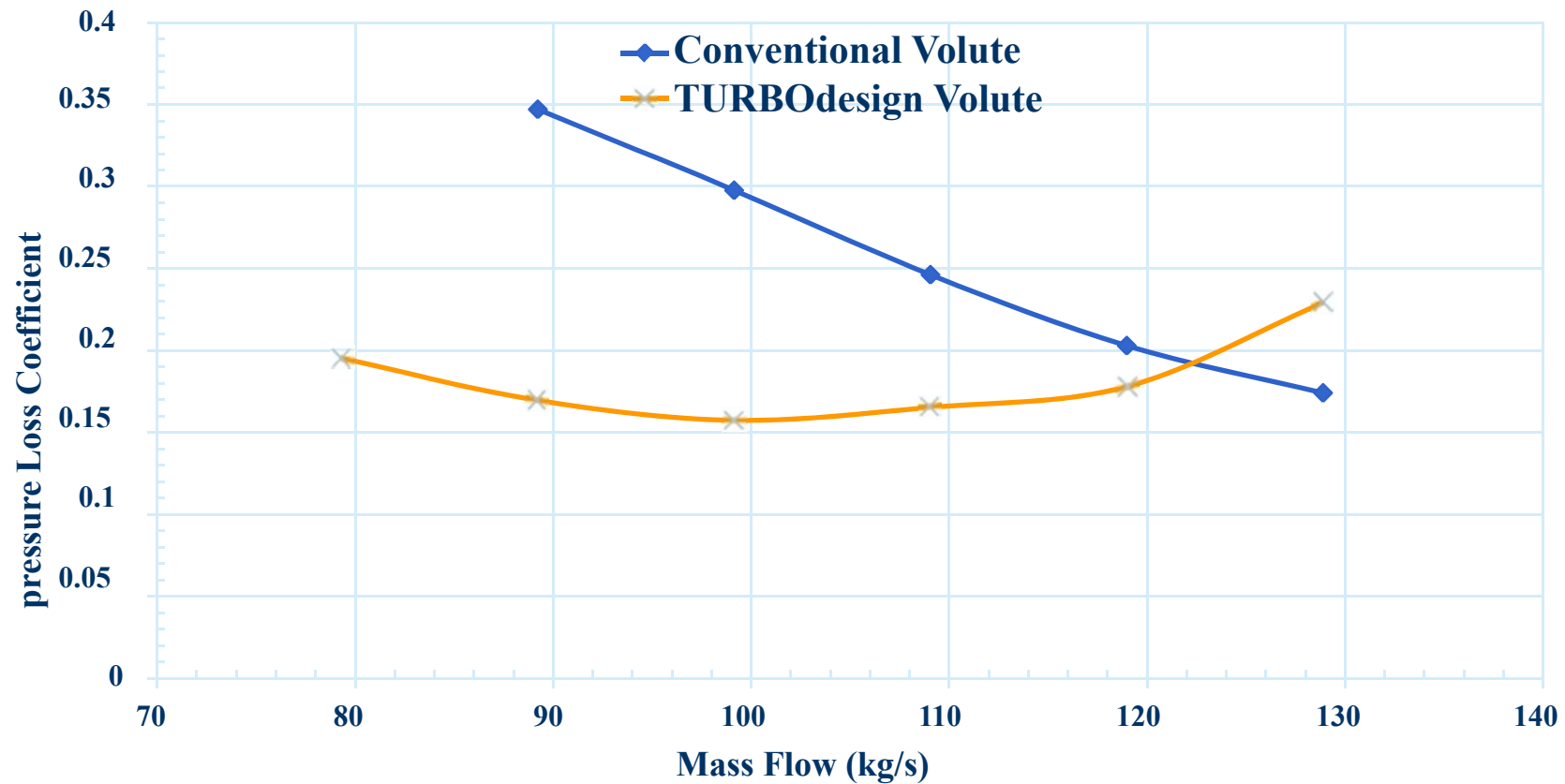


均匀边界条件设计

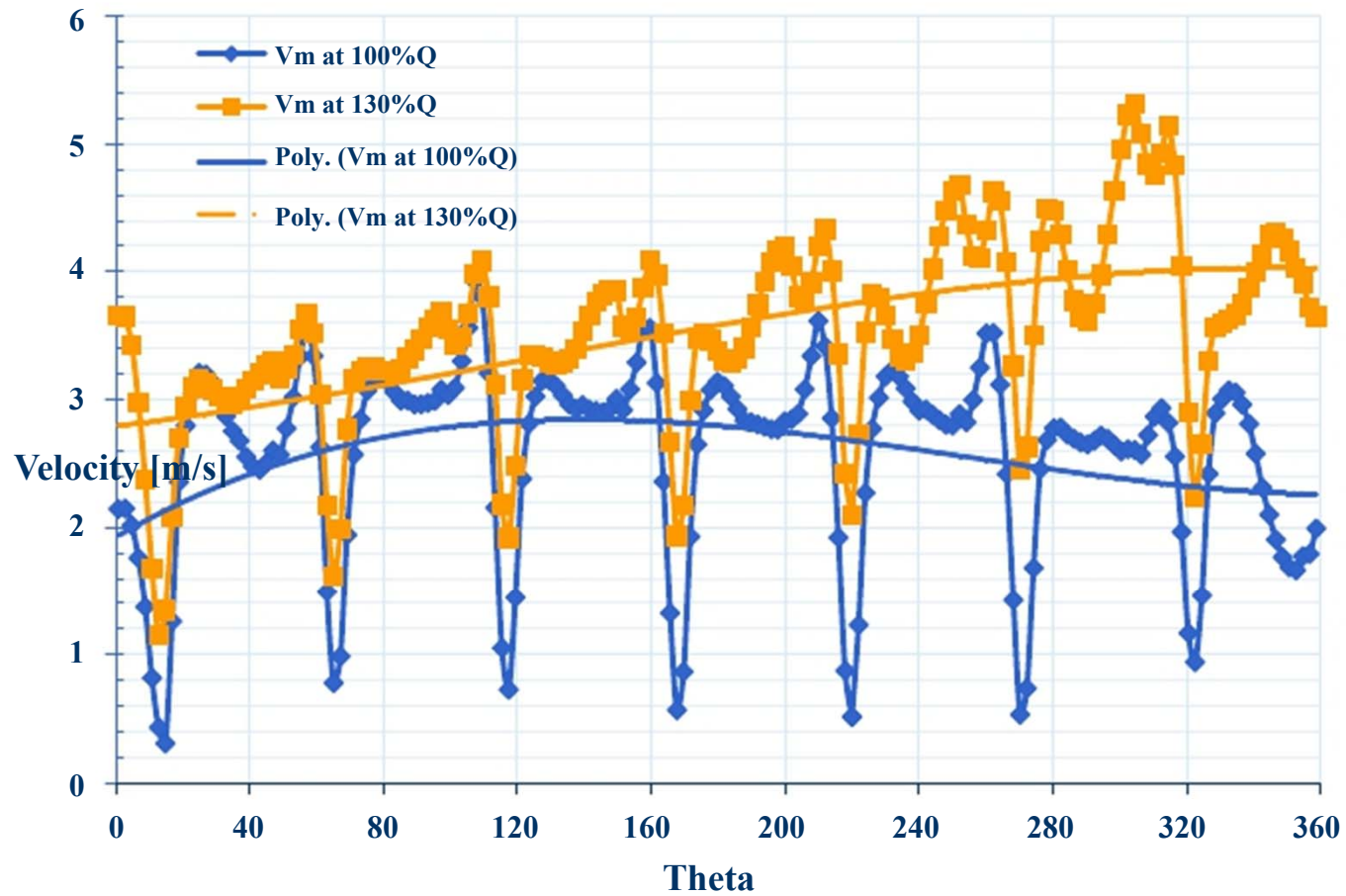


Stage CFD comparison
TURBObdesign Volute and Conventional Design

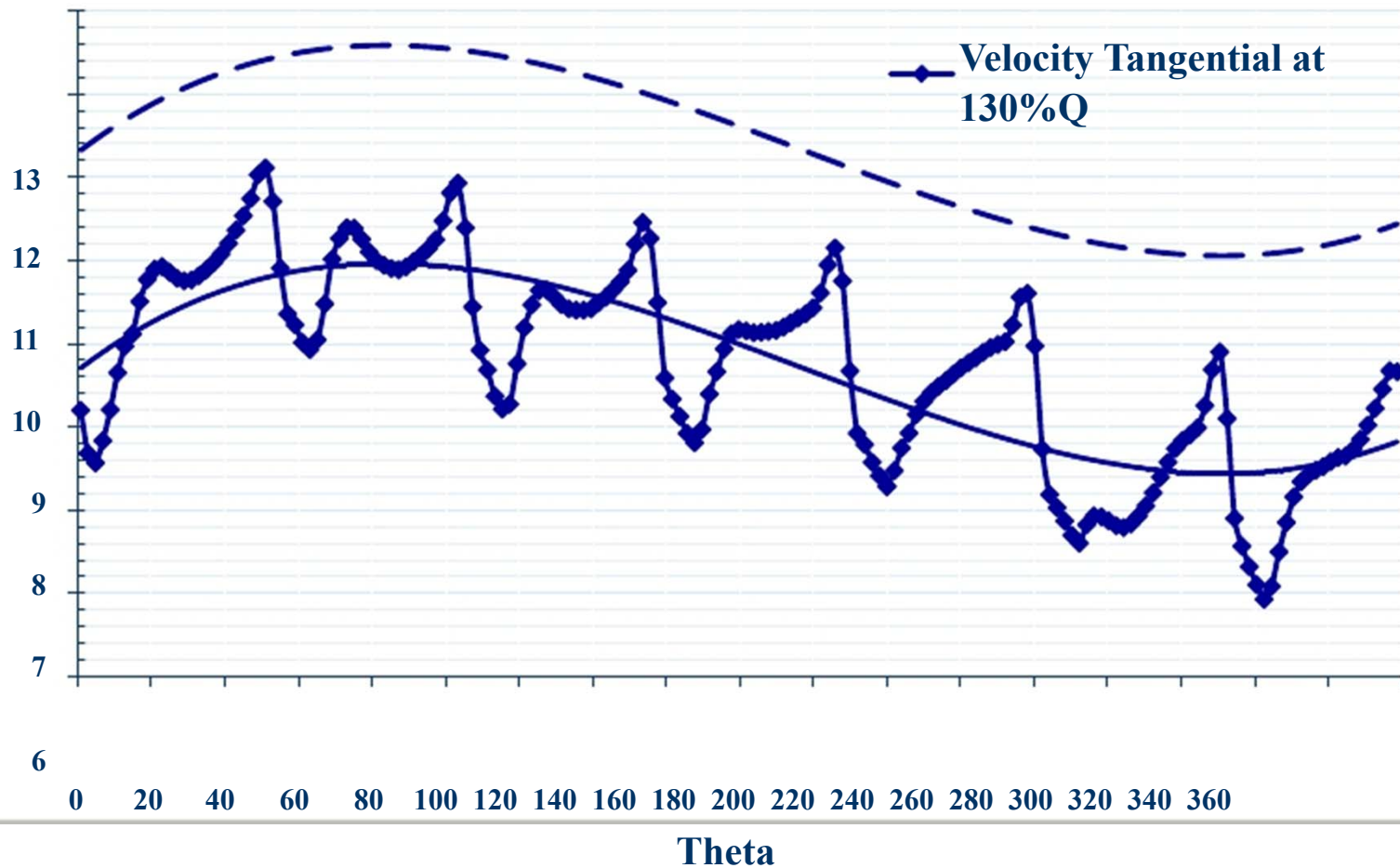
总压损失



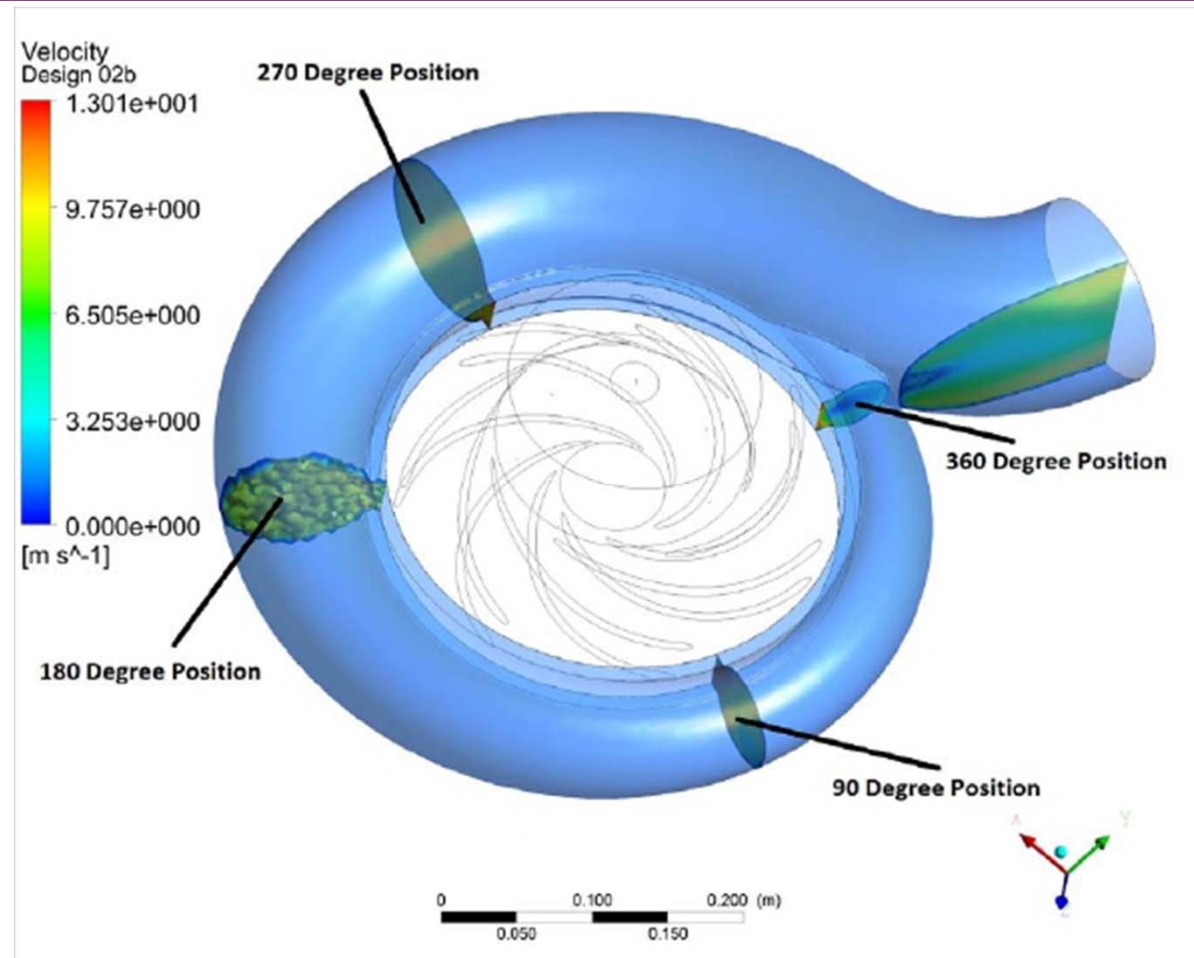
速度分布



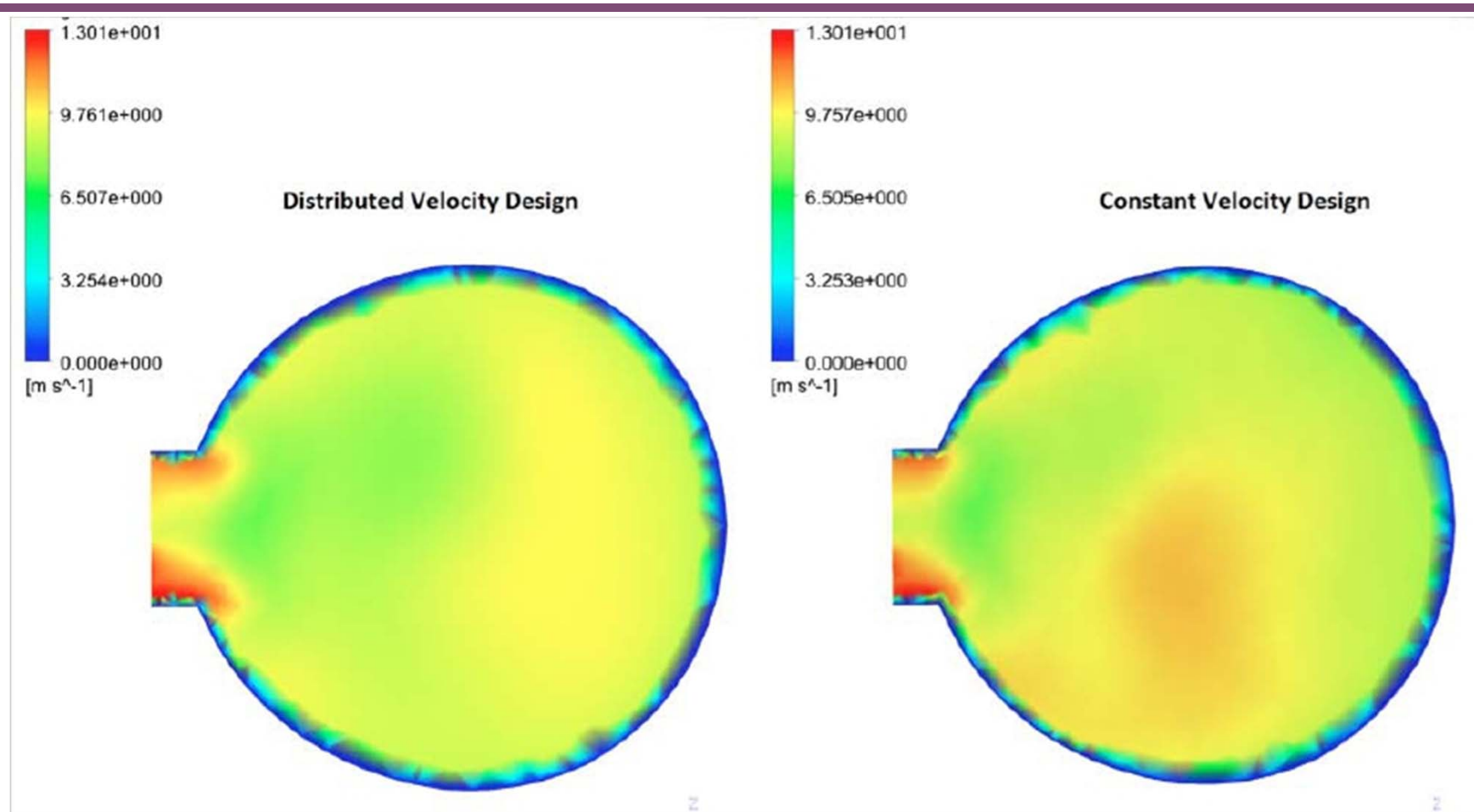
切向速度分布



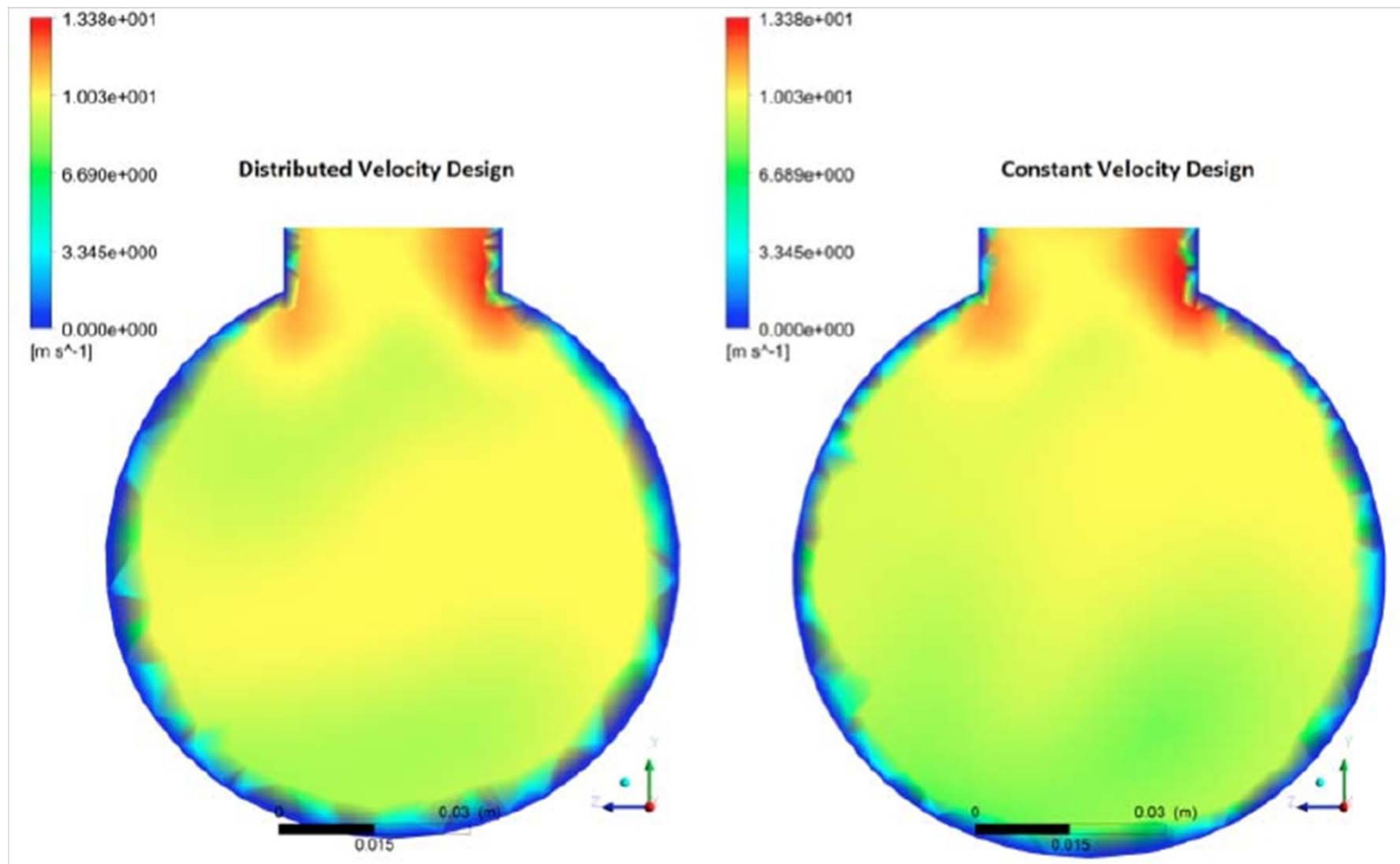
不同截面速度云图



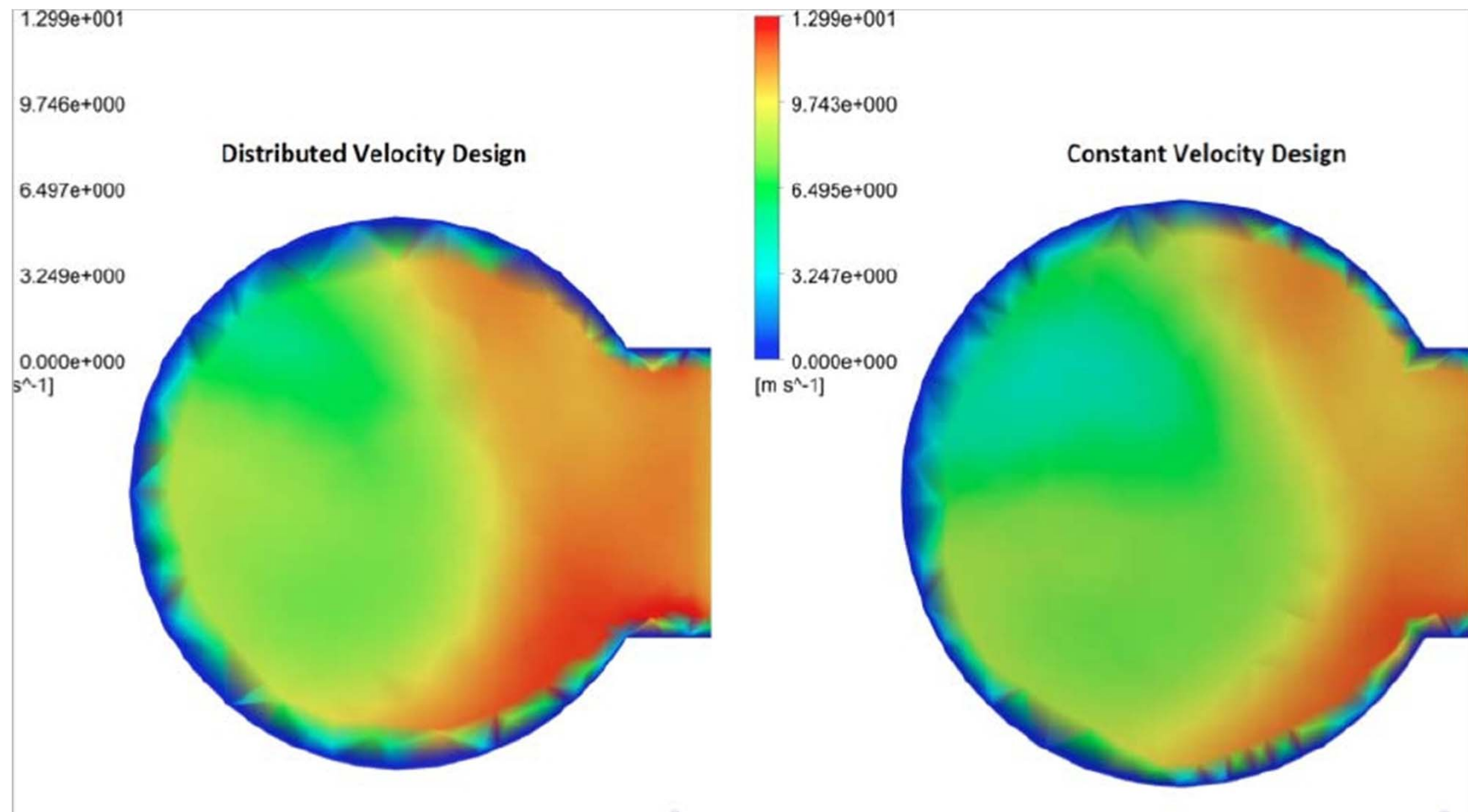
90°位置速度云图



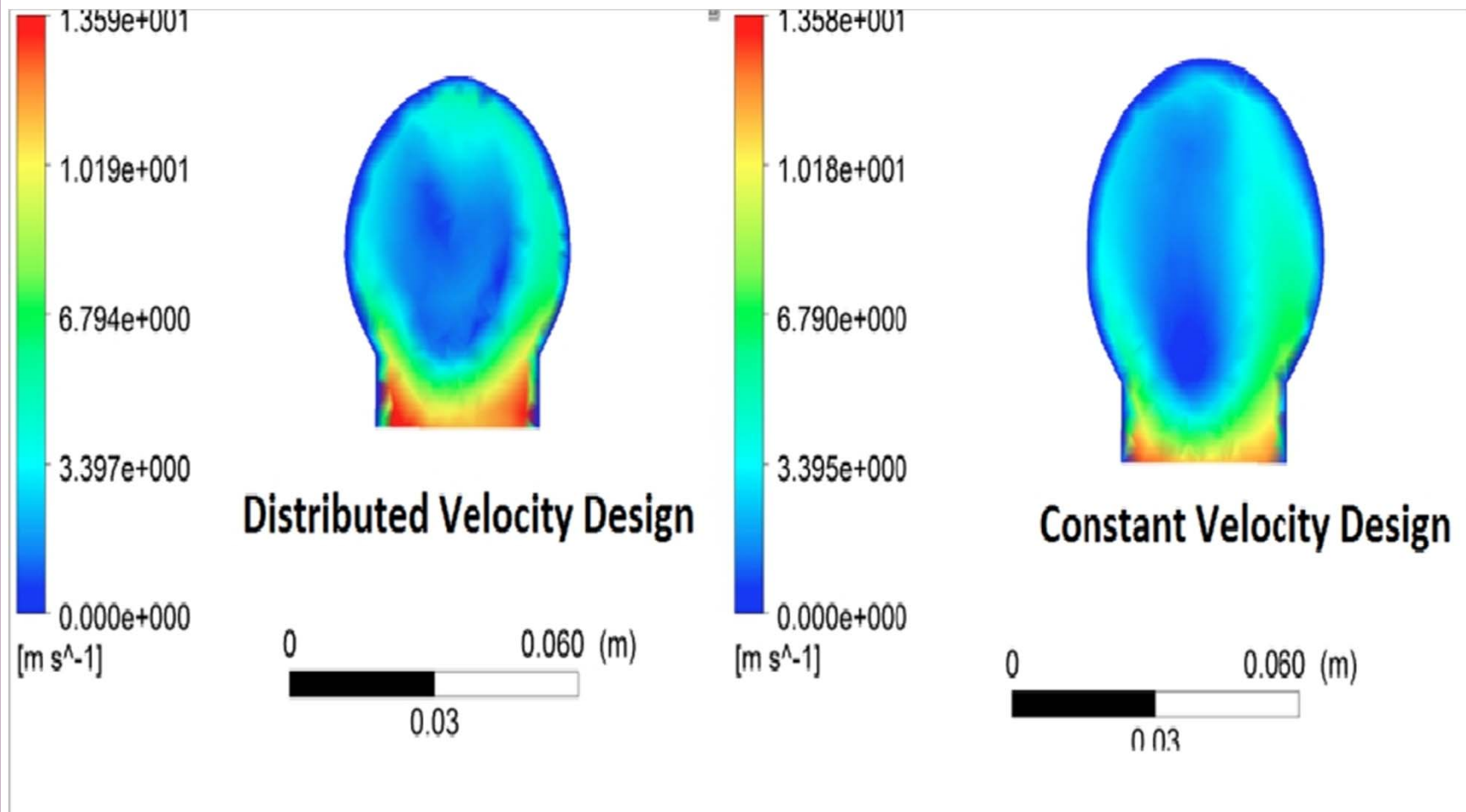
180°位置速度云图



270°位置速度云图



360°位置（蜗舌）速度云图



总结

- 利用**TURBOdesign volute**采用平均叶轮出口速度设计生成的涡壳几何相比传统设计总压损失更小，并且正确地在设计点上取得最小总压损失；
- 采用非均匀环向速度设计的涡壳有助于降低涡壳中的流动不均匀性，尤其是在高于设计点的蜗舌区域。

TURBOdesign CFD 主要改进



TURBOdesign CFD特征

- 专门用于叶轮机械的**CFD**计算代码，集成于**TURBOdesign**软件当中；
- 基于**Nasa**的**Lewis**研究中心以及**Florence**大学开发的学术代码（**TRAF**）；
- 拥有**20**多年历史，在欧洲的航空发动机/工业压缩机以及泵行业中广泛应用；
- 八十多篇相关论文；

TURBOdesign CFD主要特点

- 从**TURBOdesign**中方便地导入几何和边界条件，自动生成三维网格；
- 稳定可靠——可以在高度扭曲网格的情况下收敛（很多商业软件都无法在类似网格条件下收敛）；
- 计算快于目前的商业软件。单级叶片（**50万网格**）在四核处理器上的典型计算时间为**10分钟**；
- 可用湍流模型
 - **Baldwin-Lomax**
 - **Spalart Allmaras (version 5.2)**
 - **Two equation Wilcox k-w (version 5.2)**

TURBOdesign CFD主要特点

- 自动计算特征量；
- 自动生成针对叶轮机械的计算报告，包括所有相关信息；
- 对风扇计算宽带噪音，对泵计算气蚀余量；
- 只能考虑叶片区域，不包括涡壳区域。不过会在CFD计算出的扩散器出口结果的基础上使用涡壳损耗模型来给出总的多级性能估计值；
- 在叶片设计过程中特别适用，尤其是和**TURBOdesign optima**耦合

TURBObdesign CFD在风扇计算时的计算报告

SUMMARY

CASE :
des04_p102000

Design spec

Blade No.	24
Rotational speed (rpm)	3000.0
Inlet density (kg/s)	1.200

Flow rate

Inlet Mass (kg/s)	3.75622
Outlet Mass (kg/s)	3.75479
Mass Error	0.038%
Max. Mass Error	0.542% (at J = 16)
Inlet (m ³ /min)	187.81117

Pressure (Pa)

	TE-LE	TE-Inlet	Outlet-Inlet
Total	2450.87305	2429.41406	2329.90283
St	1743.95239	1514.18042	1576.39087

**Broadband noise model based on
results of Fan Noise consortium**

Velocity (m/s)

	Inlet	LE	TE	Outlet
VM	32.19983	35.71764	36.49318	33.54645
VT	0.00005	0.47788	33.63828	33.53801
V	32.19991	36.90155	50.51682	47.78290
W	75.07988	76.42789	50.09339	48.04314

Shaft power

Based on Blade Surface Pressure 8.16746 (kW)

EFFICIENCY

Total-to-total	89.76 (%)
Total-to-static	32.93 (%)

NOISE ESTIMATION ####

Using velocity loss method

	By using W-CFD	By using W-design
	dB	dB
Eloss^1	103.6231	102.9534

TURBObdesign CFD在泵计算时的计算报告

SUMMARY

CASE: 280imp

Design spec

Blade No.	6
Rotational speed (rpm)	1000.0
Inlet density (kg/s)	1000.000
Vapor P (Pa)	1900.0

Flow rate

Inlet Mass (kg/s)	59.95977
Outlet Mass (kg/s)	59.98263
Mass Error	0.038%
Max. Mass Error	1.930% (at J = 3)
Inlet (m ³ /min)	3.59759

Head (m)

	TE-LE	TE-Inlet	Outlet-Inlet
Euler	22.37120	22.55046	20.66530
Total	21.53347	21.32189	19.21967
St	14.05575	13.64475	14.92622

Shaft power

Based on Blade Surface Pressure	12.99852 (kW)
---------------------------------	---------------

Based on Euler Head

13.15437 (kW)

Cavitation

NPSH(m)	POWER DROP(%)	Scal	Sigma	SigmaTH
4.0544	0.1	663.8	0.7413	1.2501
3.4176	0.2	754.6	0.6155	1.0537
2.8746	0.3	859.2	0.5081	0.8863
2.2786	0.5	1022.7	0.3903	0.7025
1.6854	1.0	1282.3	0.2731	0.5197
1.0968	2.0	1769.7	0.1567	0.3382
0.7074	3.0	2459.0	0.0797	0.2181

Sigma : cavitation number

SigmaTH : Thoma cavitation factor

Flow coefficient at inlet = 0.2451343

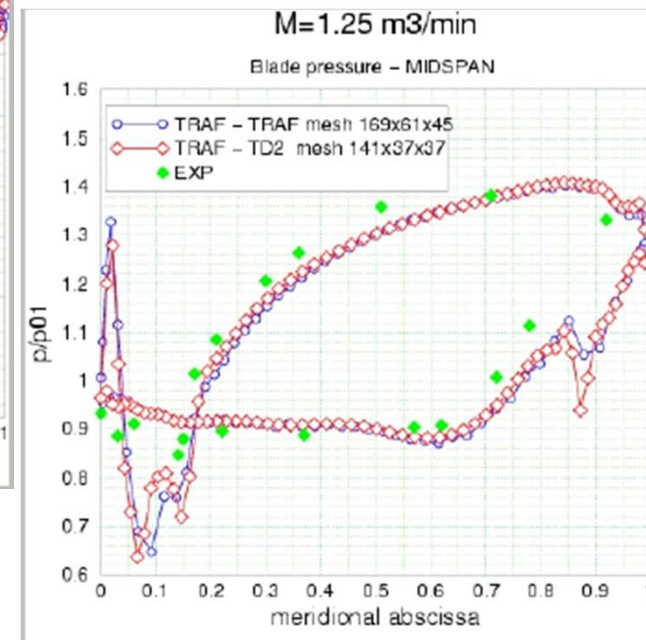
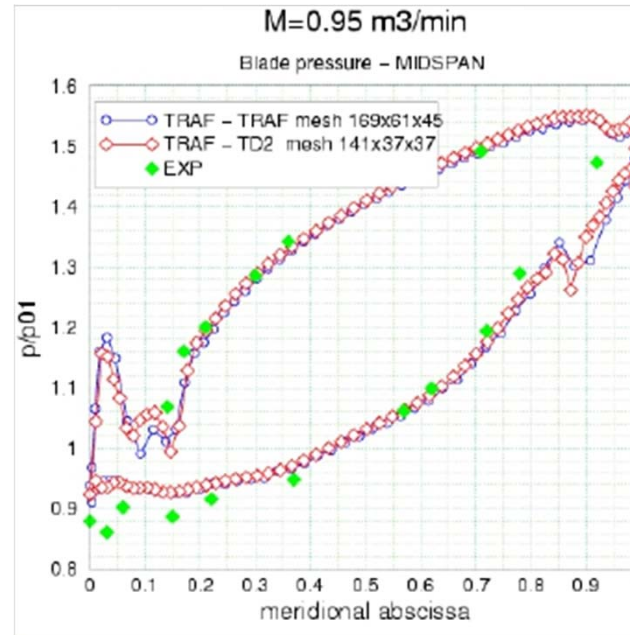
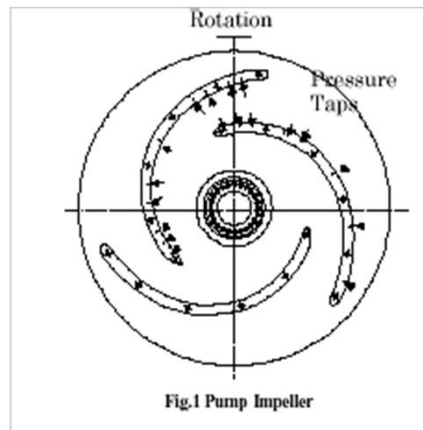
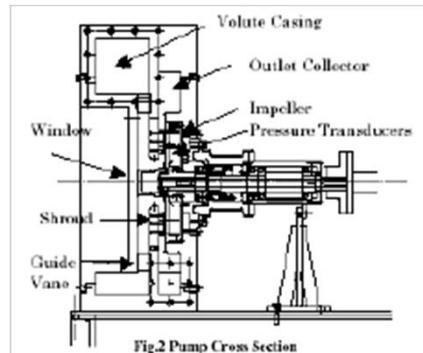
Head coefficient = 0.6410885

EFFICIENCY

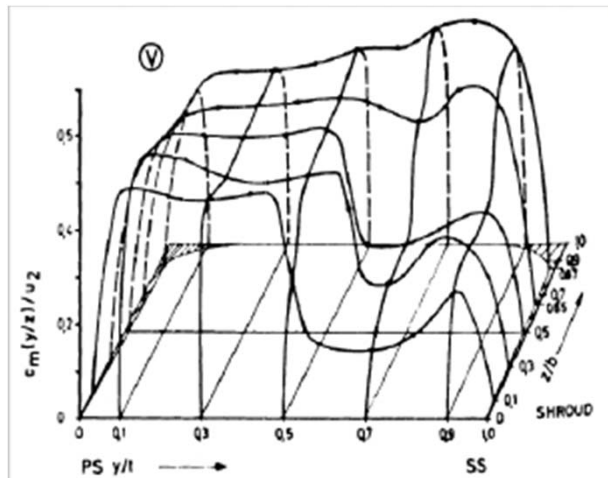
Total-to-total	94.55 (%)
Total-to-static	58.10 (%)

Cavitation data is generated automatically using blade surface static pressure results in single phase analysis.
Effective approach for comparing designs

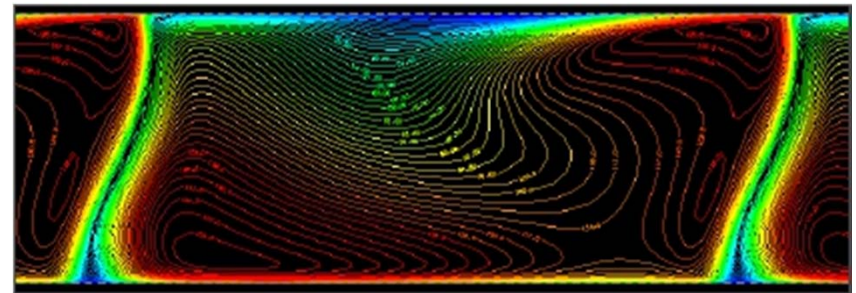
实验对比



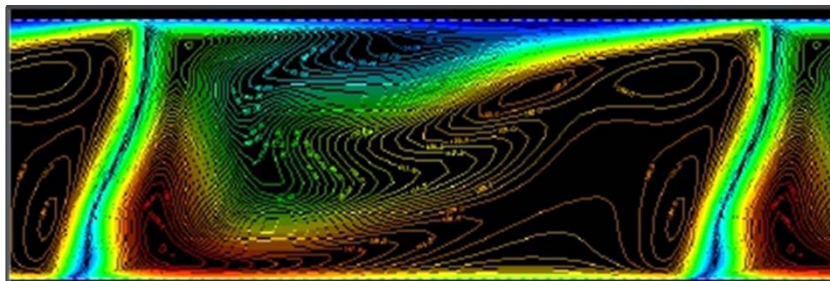
ECKARDT叶轮



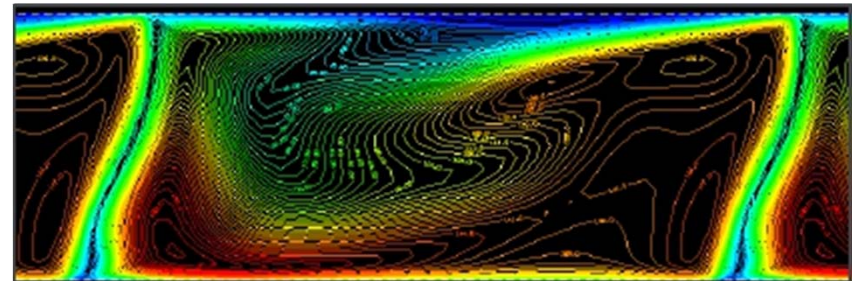
L2F Measurements



Baldwin Lomax



Wilcox $k-\omega$



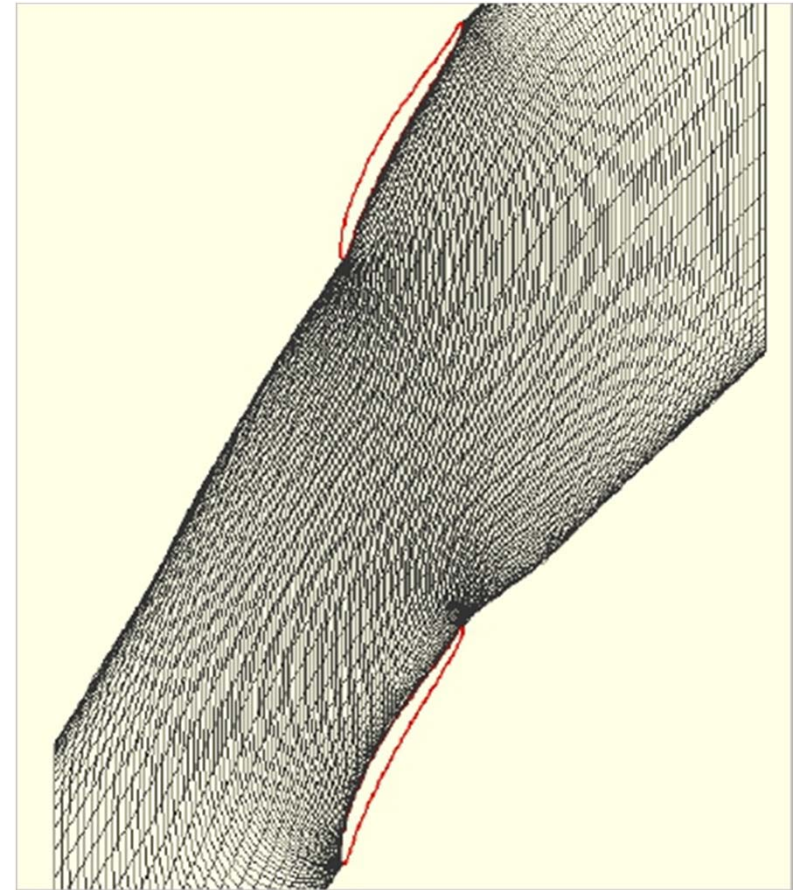
Spalart-Allmaras

TURBOdesign CFD总结

- TURBOdesign CFD可以在叶轮机械设计过程中需要偏离设计点的反馈时提供快速CFD计算；
- 紧密集成于TURBOdesign套装当中，可以在几分钟之内生成并计算一个算例；
- 代码可以在TURBOdesign Optima中以脚本方式运算；
- 在5.2版本中增加了可压流动计算功能、新的湍流模式以及并行/多核批处理模式；

TURBOdesign CFD未来改进

如右图这种风扇尖端截面的高度扭曲几何可以通过在叶片上表面和下表面使用不同的网格点数并进行椭圆光滑来得到高质量网格。



TURBOdesign 5.2更新总结

◆ TURBOdesign1

- ✓ Ffowcs-Williams Hawkins model for tonal noise
- ✓ Splitter parameterization for script version

◆ TURBOdesign Optima

- ✓ Splitter blade Optimization

◆ TURBOdesign CFD:

- ✓ compressible version
- ✓ 2 additional turbulence models (Spalart-Allmaras and 2 equation Wilcox $k-\omega$)
- ✓ HPC/Multi-core version.

◆ TURBOdesign Volute

- ✓ Incompressible symmetric volute version

TURBOdesign 5.3更新计划

◆ TURBOdesign Pre:

- ✓ Mixed flow Pump version
- ✓ Radial-inflow turbine version

◆ TURBOdesign1

- ✓ Parameterization for axial chord optimization for axial machines.

◆ TURBOdesign CFD:

- ✓ New elliptic mesh generator

◆ TURBOdesign Volute

- ✓ Compressible and asymmetric version (turbocharger applications)

◆ TURBOdesign2

- ✓ Mass flow boundary conditions
- ✓ Stage/multi-stage model in analysis and design modes.

感谢您的关注

