

# Simulation Study of Gas Flowing of Internal Structure of Ultrasonic Gas Meter

Yiran Zhai<sup>1,2</sup>, Yong Zhao<sup>1</sup>, Xiaochuan Hu<sup>2</sup>, Yi Liu<sup>1</sup>, Bin Zhang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Chengdu Qianjia Technology Co., Ltd., Chengdu Sichuan

<sup>2</sup>Sichuan University, Chengdu Sichuan

Email: stillyr@163.com

Received: Jul. 16<sup>th</sup>, 2016; accepted: Aug. 5<sup>th</sup>, 2016; published: Aug. 8<sup>th</sup>, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

Gas fluid dynamics of both an originally internal structure (SX structure) and a new design (QJ structure) of ultrasonic gas meter are simulated by CFX of ANSYS. Results of gas flowing velocity at typical flow points are calculated and analyzed. Gas velocity of the whole inside, the XY axis cross plane and the center part of XY axis cross plane where ultrasonic wave passes through of both the two structures is obtained. The simulation results reveal almost the same performance of gas flowing in both the SX structure and the QJ structure. Further analysis shows that comparably worse flowing performance is obtained by the QJ structure than that obtained by SX structure for requirements of real product design. Otherwise, gas fluid of the key part where ultrasonic wave passes through is in high speed; however it is more uniform and more stable than that of the whole inside or that of the XY axis cross plane, which is advantageous to accurate measurement of gas flowing velocity.

## Keywords

Ultrasonic, Gas Meter, Gas Velocity, CFX Simulation

---

# 超声波燃气表内部结构设计的气体流动仿真研究

翟义然<sup>1,2</sup>, 赵勇<sup>1</sup>, 胡小川<sup>2</sup>, 刘义<sup>1</sup>, 张彬<sup>2</sup>

<sup>1</sup>成都千嘉科技有限公司, 四川 成都

<sup>2</sup>四川大学, 四川 成都  
Email: stillyr@163.com

收稿日期: 2016年7月16日; 录用日期: 2016年8月5日; 发布日期: 2016年8月8日

## 摘 要

利用流体动力学仿真软件CFX对超声波燃气表腔体结构的参考设计结构(SX结构)和新设计结构(QJ结构)进行仿真研究和分析。在不同的流量点上分别仿真获得两种结构内的气体流动特性, 包括两种结构的整个腔体内、腔体的XY轴向截面上及XY轴向截面中超声波测量部分的气体流速分布。对仿真结果分析显示, 两种设计结构内气体流动性能非常近似。进一步分析发现, 由于受到实际产品需求的影响, 新改进的QJ结构比SX结构气体流速分布性能略差一些。另外, 研究结果还显示与整个腔体气体流动或整个XY轴向截面上气体流动相比, 超声波测量部分截面内气体流动虽然更快, 但相对更均匀和稳定, 有利于超声波气体流速的准确测量。

## 关键词

超声波, 燃气表, 气体流速, CFX仿真

## 1. 引言

超声波燃气表会在将来替代现在广泛使用的膜式燃气表, 其工作原理是利用超声波传播速度受燃气流动速度的影响来计量燃气的体流量[1] [2]。超声波燃气表是无机械运动部分的全电子式燃气表, 具有体积小、重量轻、压损小和方便抄表数据远传等优点。目前, 一些西方国家已经研制出家用超声波燃气表, 意大利和日本已经并开始小批量应用。最近一两年我国也有少数公司开发出超声波燃气表, 开始新产品试用, 试用结果显示部分超声波燃气表性能还不十分稳定。

我们在对超声波燃气表进行表体设计时参考松下公司设计的 SX 结构, 结合实际应用的要求和机械加工的要求新设计一款 QJ 机构。超声波燃气表的计量性能非常依赖表体结构设计, 结构设计的好坏直接影响表内燃气流动的稳定性。目前燃气表产品设计主要靠设计经验和样机实验, 产品设计验证的周期很长。我们在进行超声波燃气表的表体结构设计阶段进行了 CFD 仿真研究[3]-[7]。对 SX 结构和新设计的 QJ 结构进行详细的气体流动仿真, 获得表体内气体速度场, 对获得的仿真流动数据进行对比分析。

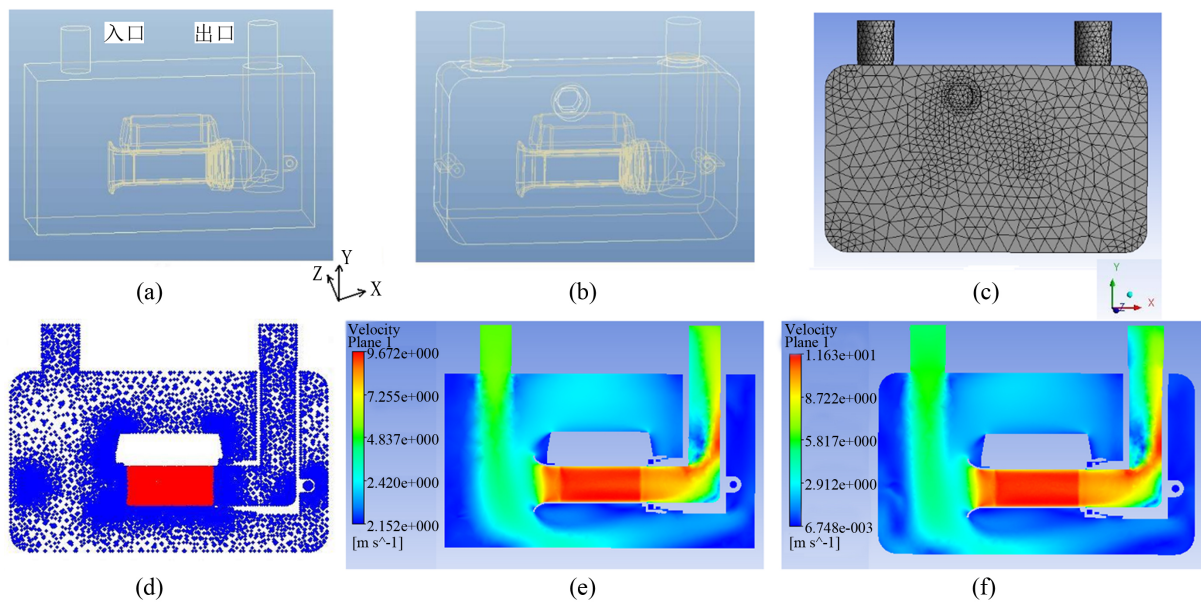
## 2. 模型建立

### 2.1. 气体流道模型建立

超声波燃气表需要设计外壳结构, 腔体内的中部安装一个超声波测量模块, 如图 1(a)和图 1(b)所示。超声波测量模块带有内部流道, 内部流道是一段相对狭窄的多层长方体型结构, 可以使燃气气体流动更加稳定, 超声波探头就在该段内部流道测量气体流速。

### 2.2. 网格划分

在 Workbench 中分别导入由 CAD 生成的 SX 结构和 QJ 结构, 采用自动网格划分方法对腔体进行网格化, 其中 QJ 结构网格化后如图 1(c)所示。



**Figure 1.** Design of SX structure (a), design of QJ structure (b), mesh of QJ structure (c), points of the whole XY axis cross plane of QJ structure (d), velocity distribution on XY axis cross plane of SX structure at flowing point  $6\text{ m}^3/\text{h}$  (e) and velocity distribution on XY axis cross plane of QJ structure at flowing point  $6\text{ m}^3/\text{h}$  (f)

**图 1.** SX 结构设计图(a)、QJ 结构设计图(b)、QJ 结构腔体内部网格划分图(c)、QJ 结构整个腔体 XY 轴截面上的点(d)和在  $6\text{ m}^3/\text{h}$  时 SX 结构 XY 轴截面上气体流速分布图(e)和 QJ 结构 XY 轴截面上气体流速分布图(f)

### 3. 仿真分析

#### 3.1. 模型建立和边界条件设定

设置流道的入口和出口面，如图 1(a)所示，其它全为固体壁面。假设超声波燃气表内流动的为理想气体，仿真时的气体从入口进入腔体，从出口流出。本次结构设计出的超声波燃气表可以用于替代膜式燃气表 G1.6、G2.5 和 G4 三种不同测量范围的燃气表。G1.6 表的测试流量点包括大流量点  $2.5\text{ m}^3/\text{h}$ ，中流量点  $0.5\text{ m}^3/\text{h}$  和小流量点  $0.016\text{ m}^3/\text{h}$ ；G2.5 表的测试流量点包括大流量点  $4\text{ m}^3/\text{h}$ ，中流量点  $0.8\text{ m}^3/\text{h}$  和小流量点  $0.025\text{ m}^3/\text{h}$ ；G4 表的测试流量点包括大流量点  $6\text{ m}^3/\text{h}$ ，中流量点  $1.2\text{ m}^3/\text{h}$  和小流量点  $0.04\text{ m}^3/\text{h}$ 。因此。选择 9 个典型流量点进行气体流速仿真。根据某一个具体流量、出口或入口面积计算并设置相应的气体流速，然后进行仿真运算，获得气体内部流动的仿真结果。

#### 3.2. 求解控制

设置收敛条件为 RMS 等于 0.0001，最大收敛迭代步数为 300。

### 4. 结果分析

#### 4.1. 整体流道气体流动仿真数据分析

在 9 个流量点分别获取 SX 结构和 QJ 结构在不同气体流速下的整个腔体内节点气体流速的平均值 (Mean)、标准方差 (Std)、最大流速 (Max) 和最小流速 (Min)，分析结果列于表 1 中。

#### 4.2. 整个腔体的 XY 轴截面上数据分析

分别获得 SX 结构和 QJ 结构的腔体在  $z = 0.0$  的 XY 轴向截面。其中，QJ 结构 XY 轴向截面的点如图 1(d)所示，截面点包括红色和蓝色的点。在流量点  $6\text{ m}^3/\text{h}$  时分别获得 SX 结构和 QJ 结构 XY 轴向截面

内气体流速分布如图 1(e)和图 1(f)所示。

分别获取 SX 结构和 QJ 结构在 XY 轴向截面上在 9 个流量点时气体流速的 Mean、Std、Max 和 Min，列于表 2 中。

### 4.3. 腔体的 XY 轴截面中超声波探头测量部分截面数据分析

超声波测量气体流速的多层流道内气体流动特性是本研究的重点，根据超声波测量模块的多层流道的结构，获得  $z = 0.0$  的整个 XY 轴向截面上属于多层流道内的一部分点和相应的流速数据，这个超声波测量截面上的点如图 1(d)中红色节点所示。

### 4.4. 腔体的 XY 轴截面上超声波测量部分截面数据分析

据 9 个流量点仿真结果表 2 和表 3，分别将整个 XY 轴向截面上和在超声波测量截面上气体流速数值分析结果分别绘于图 2(a)和图 2(b)中。图中先绘制各个流量点的气体流速 Mean 曲线，并在每个流量点上用绘制出对应的 Std。

**Table 1.** Analysis results of velocities of gas flowing simulation in the whole inside of both the SX structure and the QJ structure

**表 1.** SX 壳体和 QJ 壳体的整腔体的气体流速仿真数据

流量点(m <sup>3</sup> /h)		6.0	4.0	2.5	1.2	0.8	0.5	0.04	0.025	0.016
Mean (m/s)	SX	2.380	1.778	0.953	0.444	0.29	0.178	0.012	0.007	0.004
	QJ	2.515	1.664	1.023	0.474	0.309	0.189	0.013	0.008	0.005
Std (m/s)	SX	2.995	1.889	1.245	0.597	0.397	0.249	0.021	0.013	0.008
	QJ	3.562	2.368	1.473	0.704	0.469	0.294	0.025	0.015	0.01
Max (m/s)	SX	10.281	7.194	4.012	1.929	1.29	0.818	0.067	0.042	0.027
	QJ	12.304	7.98	4.866	2.354	1.553	0.975	0.08	0.05	0.028
Min (m/s)	SX	0.0007	0.0006	0.0007	0.0005	0.0002	0.0002	0.0	0.0	0.0
	QJ	0.0011	0.0012	0.001	0.0005	0.0004	0.0002	0.0	0.0	0.0

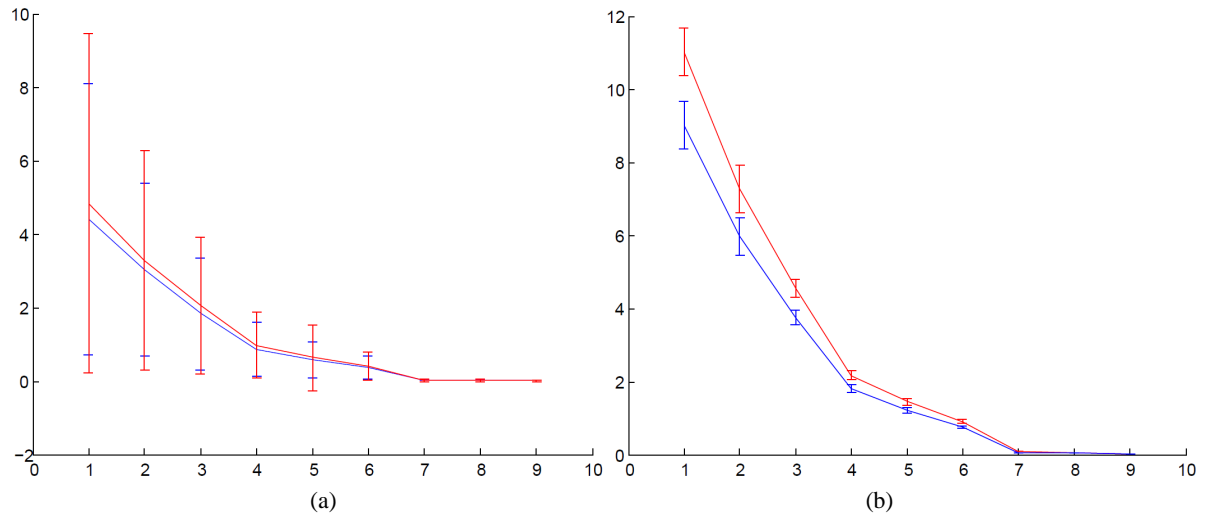
**Table 2.** Analysis results of velocities of gas flowing simulation on the XY axis cross plane of both the SX structure and the QJ structure

**表 2.** SX 壳体和 QJ 壳体在 XY 轴向截面上气体流速仿真数据

流量点(m <sup>3</sup> /h)		6.0	4.0	2.5	1.2	0.8	0.5	0.04	0.025	0.016
Mean (m/s)	SX	4.407	3.041	1.834	0.868	0.574	0.356	0.027	0.017	0.011
	QJ	4.84	3.288	2.052	0.968	0.638	0.395	0.03	0.019	0.012
Std (m/s)	SX	3.678	2.361	1.527	0.739	0.494	0.311	0.026	0.016	0.011
	QJ	4.629	2.978	1.853	0.895	0.896	0.378	0.032	0.02	0.013
Max (m/s)	SX	9.672	6.553	3.98	1.92	1.282	0.812	0.065	0.042	0.027
	QJ	11.634	7.717	4.814	2.312	1.547	0.977	0.078	0.049	0.031
Min (m/s)	SX	0.0022	0.0064	0.0049	0.0023	0.0015	0.0016	0.0	0.0	0.0
	QJ	0.0067	0.0044	0.0051	0.0020	0.0012	0.001	0.0	0.0	0.0

**Table 3.** Analysis results of velocities of gas flowing simulation on the center part of the XY axis cross plane where ultrasonic wave passing through of both SX structure and QJ structure  
**表 3.** SX 壳体和 QJ 壳体的超声测量截面部分的气体流速仿真数据

流量点(m <sup>3</sup> /h)		6.0	4.0	2.5	1.2	0.8	0.5	0.04	0.025	0.016
Mean (m/s)	SX	9.012	5.974	3.753	1.799	1.197	0.749	0.061	0.038	0.024
	QJ	11.009	7.266	4.534	2.171	1.446	0.903	0.073	0.046	0.029
Std (m/s)	SX	0.651	0.509	0.196	0.099	0.069	0.044	0.002	0.001	0.001
	QJ	0.643	0.643	0.248	0.122	0.085	0.057	0.002	0.001	0.001
Max (m/s)	SX	9.672	6.554	3.98	1.921	1.283	0.812	0.065	0.041	0.026
	QJ	11.743	7.717	4.813	2.313	1.547	0.978	0.078	0.049	0.035
Min (m/s)	SX	7.228	4.401	3.076	1.475	0.99	0.615	0.05	0.031	0.02
	QJ	8.276	5.926	3.729	1.796	1.203	0.734	0.062	0.039	0.025



**Figure 2.** Curve of MEAN and Std of gas velocity on the XY axis cross plane of both the SX structure and the QJ structure (a) and Curve of Mean and Std of gas velocity on the center part of the XY axis cross plane where ultrasonic wave passes through of both the SX structure and the QJ structure (b)

**图 2.** SX 结构和 QJ 结构 XY 轴向截面分气体流速 Mean 和 Std 曲线(a)和超声波测量部截面分气体流速 Mean 和 Std 曲线(b)

#### 4.5. 仿真数据分析结果讨论

对比由表 1 和表 2 数据, 可见整个腔体内气体流速分布与 XY 轴向截面气体流速分布对比, Mean 更小, Std 更大, Max 更大, 除了 3 个最小流量点十分近似外其他流量点的最小值更小。因此, 整个腔体内气体流动变化更大, 对 SX 结构和 QJ 结构仿真结果一致。

对比由表 2 和表 3 数据, 整个 XY 轴向截面气体流速分布与超声波测量截面气体流速分布差别很大。与整个 XY 轴向截面气体流速分布对比, 超声波测量部分 Mean 大很多, Std 小到接近一个数量级, Max 接近, 但 Min 大很多, 更接近 Max。因此, 超声波测量部分虽然气体流动速度更快, 但相对更加稳定均匀, 这有利于超声波的准确测量, 对 SX 结构和 QJ 结构仿真结果一致。这个结果也可以从图 2 中看出, 图 2(b)比图 2(a)在各个流量点的 Mean 增加很多, 但变化范围相对小很多, 说明气流稳定。同样的结论也可以从图 1(e)和图 1(f)中看出, 整个 XY 轴向截面上, 超声波测量部分气体流速显示为均匀的颜色, 且分



布均匀。

进一步对比 SX 结构和 QJ 结构的仿真数据可以发现, 两种结构气体流动的仿真数据是非常近似的, 但 QJ 结构的气体流动稳定性相对更差一些。从表 1、表 2 和表 3 中可以发现, QJ 结构的气体流动 Mean 更大; 除了在表 3 中流量点  $6 \text{ m}^3/\text{h}$  外, QJ 结构的气体流动 Std 更大, Max 更大, 表 1 和表 2 中 Min 近似, 表 3 中 Min 更大。

QJ 的超声波燃气表腔体设计空间与松下的空间接近, 仿真数据结果显示: QJ 结构气体流动稳定性相对差一点, 这在实际产品结构设计需求有关。对整个腔体而言, 与 SX 结构相比 QJ 结构内气体流在 3 个小流量点稳定性近似, 但在 3 个大流量点附件 QJ 结构气体流速明显变快, 在最大流量点快 20% 多。腔体的 XY 轴截面数据分析结果类似。超声波测量截面上 QJ 结构内气体流从小流量到大流量流速都增加了, 这使得 Std 增加很小, 保证了气流的稳定。因此, QJ 结构比 SX 结构气体流动稳定性稍变差, 这在实际表体设计时候增加的螺丝柱部分, 以及腔体加工的不完全对称性等改变相关。

## 5. 结论

针对超声波燃气表原来参考设计 SX 结构的和新改进设计 QJ 结构, 用 ANSYS 的 CFX 仿真软件进行了气体流体力学仿真研究, 分别获得了整个腔体、XY 轴向截面和超声波测量截面的气体流速分布数据。数据分析结果显示, QJ 结构在气体流动性能上稍差一些, 但气体流动性能基本一致, 差别不大。由于超声波测量模块对气体流速测量有一定的适应性, 可以弥补 QJ 结构的相对微小的性能差异。对采用新改进流道设计制造的超声波燃气表样机初步测试, 结果显示在九个流量点都能满足设计精度要求。该研究成果是一次有意义的仿真和具体结构设计相结合的实际应用案例, 为超声波燃气表的内部气体流道结构设计提供一定的理论依据, 可以缩短表体结构设计验证时间, 提高工作效率。

## 基金项目

获科技部创新人才推进计划重点领域创新团队资助(2014RA4051 号)。

## 参考文献 (References)

- [1] Lynnworth, L.C. and Liu, Y. (2006) Ultrasonic Flowmeters: Half-Century Progress Report, 1955-2005. *Ultrasonics*, **44**, 1371-1378. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultras.2006.05.046>
- [2] 于洋, 宗光华, 丁凤林. 超声波流量测量中流速计算方法的对比[J]. 北京航空航天大学学报, 2013(1): 37-41.
- [3] Bernardo, S., Mori, M., Peres, A.P., et al. (2006) 3-D Computational Fluid Dynamics for Gas and Gas-Particle Flows in a Cyclone with Different Inlet Section Angles. *Powder Technology*, **162**, 190-200. <http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2005.11.007>
- [4] Jia, H.Y., Kong, J.Y., Zhou, S.Z., et al. (2013) Study on the Method for CFX Numerical Simulation of Flow Field in Screw Conveyer of Sand Fracturing Blender. *Applied Mechanics and Materials*, **318**, 207-211. <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.318.207>
- [5] 董全林, 孟凡念, 王鹏飞, 王岩. 高效风机的设计及 CFX 仿真分析[J]. 风机技术, 2014(S1): 54-60.
- [6] 李丽丹, 李声. 基于 CFX 和 Workbench 的数值仿真技术[J]. 中国测试, 2010, 36(5): 79-83.
- [7] 谢龙汉, 赵新宇, 张炯明. ANSYS CFX 流体分析及仿真[M]. 北京: 电子工业出版社, 2012.

**期刊投稿者将享受如下服务：**

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>