

CFD软件在控制阀设计中的应用

Application of CFD Software in Control Valve Design

文/吴建曼 陈志滔 浙江金锋自动化仪表有限公司

本文介绍了应用CFDesign软件，求解控制阀的额定Cv值、流阻系数以及流量特性的方法，并对管道内流动状态作了分析。通过与试验比较，得出若干有价值的结论。

引言

控制阀在现代工业生产过程中起着至关重要的作用，它是流体运输过程和工艺环路系统中的重要控制元件，是确保各种工艺设备正常工作的关键设备，被广泛应用于工业生产及日常生活各个领域。在控制阀的众多技术参数中，阀门的额定Cv值、流阻系数以及流量特性显得尤为重要，这几个参数不仅是保证控制阀在使用现场具有良好控制性能的关键参数，同时还关系到控制阀的选型是否正确。长期以来，对于控制阀的额定Cv值、流阻系数以及流量特性的研究主要以形式试验研究为主，依据《IEC 60534-2-3工业过程控制阀第2-3部分 流通能力试验程序》以及《IEC 60534-2-4工业过程控制阀第2-4部分 固有流量特性和可调比》中的相关规定通过形式试验得到控制阀的额定Cv值、流阻系数、流量特性等参数，如图1所示。但是形式试验的弊端在于不仅测试的成本高，而且时间周期长，同时对于一些大口径的阀门（DN≥250）以及小口径的阀门（DN≤25）由于设备的限制还无法进行测试。针对以上这些问题，传统的测试方法已经局限了控制阀的开发工作，必须寻找一种全新的解决办法，近年来CFD技术在阀门的设计开发中得到了广泛的使用。本文介绍了应用CFDesign软件，求解控制阀的额定Cv值、流阻系数以及流量特性的方法，并对管道内流动状态作了分析。通过与试验比较，得出若干有价值的结论。



图1 通过形式试验测定控制阀

CFDesign软件介绍

CFDesign是一款专业的流体分析软件，该软件具有完整的流体力学计算模型，计算精确，同时界面友好、使用简单。跟传统的一些CFD软件需要专业的技术人员操作相比，CFDesign的优势在于它是同时面向分析专家和工程师的CFD软件，对于普通的阀门工程师具有简洁的操作界面和分析操作步骤，能够很好的掌握以及运用。同时它能够很好地与现在主流的一些三维设计软件实现对接，保证阀门设计工程师在设计好三维模型样机之后，直接导入CFD软件进行流体分析而不需要通过格式的转换避免了三维模型几何特性的丢失。下面

将以DN50mm的单座式控制阀为例，介绍CFDesign软件在控制阀开发过程中的应用。

基本思路

利用CFDesign软件求解控制阀的额定Cv值、流量特性基本思路如下：

采用的Cv值计算公式如下：

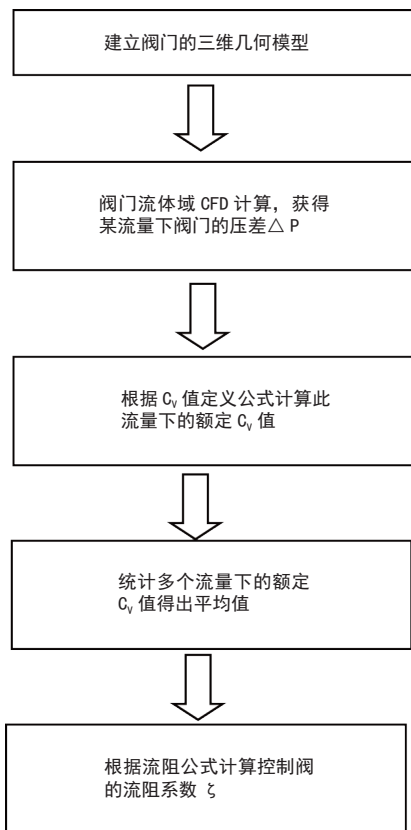
$$C_v = 1.156 \times 10 \times Q \times \sqrt{\rho / \Delta P} \quad (1)$$

其中：Q为体积流量，单位为m³/h；

ρ为水的相对密度（取ρ=1）；ΔP为压力差值；

采用的流阻系数计算公式如下：

$$\xi = \left(5.09 \frac{A}{K_v} \right)^2 \quad (2)$$



其中：A为控制阀阀座处的节流面积，单位为 cm^2 ； ζ 为流阻系数，无量纲。

$$K_v = C_v / 1.156$$

我们利用CFDesign软件模拟形式试验时的试验条件，在软件中定义样机的入口处体积流量Q，出口处的压力 P_2 设置为0，求阀门的入口处压力 P_1 ，再由求得的 P_1-P_2 得到 ΔP 的值，再根据公式计算出样机的额定 C_v 值，该过程也正好与形式试验时求解额定 C_v 值的过程相同。

软件模拟实施步骤

样机三维模型的建立

利用Solidworks三维实体建模软件，建立样机的三维模型。所建的实体模型要准确的反映控制阀内部结构的实际情况。建立三维模型时需要注意以下几点：

1、为了提高软件在计算时的运行速度，除去不影响流道生成且与流体介质不直接接触的部件和不影响计算结果的细小零部件，仅建立封闭的三维模型。

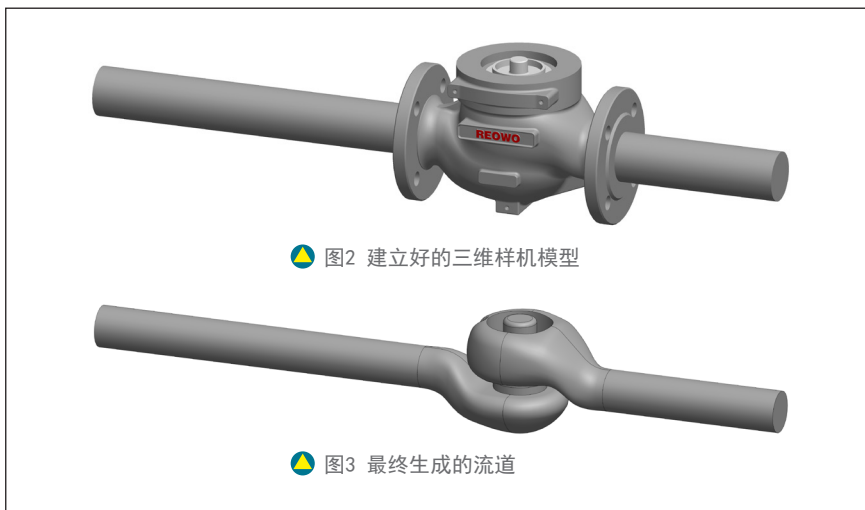


图2 建立好的三维样机模型

图3 最终生成的流道

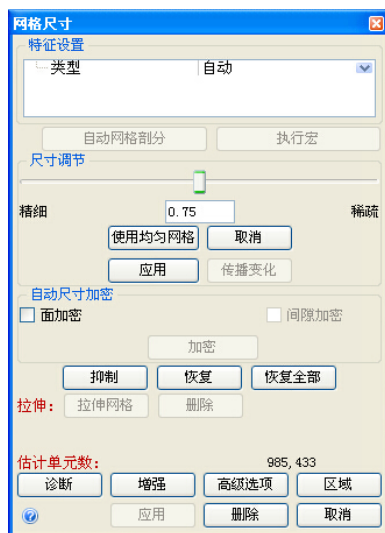


图4 网格设置



图5 流体设置

2、为了使模拟计算时流道两端的流动得以充分进行以及进出口面流动呈稳定均匀流动，对阀门内部流道模型进出口两端都进行了延伸，进口前加长度为3~5倍流道直径的延长段，出口后加长度为6~10倍流道直径的延长段。建立的三维样机模型如图2所示。

阀内流道的抽取

建立好三维实体模型之后，我们需要利用Solidworks内部的Flow simulation模块进行阀体内部流道的抽取。因为在进行仿真模拟时只计算流体流动的有效区域。抽取流道的步骤如下：

1、开启Solidworks里面的Flow simulation模块，在工具栏上找到Check Geometry按钮，弹出对话框进行设置。

2、勾选Create fluid body assembly对话框，选择完成后点击Check按钮，Solidworks将自动检测生成有效的流体域，最终抽取的流道如图3所示。

导入CFDesign进行计算

将上述生成的流体计算域文件保存为*.x_t文件，导入CFDesign，生成流道模型。各参数设置如下：

1、进行自动网格划分，网格大小设置为0.8，边界层数设置为4；如图4所示。

2、选择流体的介质为水；如图5所示。

3、在流道模型进口处设置多个体积流量作为边界条件如图6所示，为了保证模拟的准确性，我们在设置体积流量的数值时要保证入口流速在3~8m/s

表1 常用口径体积流量取值范围

公称通径 DN (mm)	进口体积流量范围 Q (m³/h)	公称通径 DN (mm)	进口体积流量范围 Q (m³/h)
15	2 ~ 6	80	60 ~ 150
20	3 ~ 10	100	80 ~ 200
25	4 ~ 12	125	130 ~ 350
40	8 ~ 25	150	190 ~ 500
50	15 ~ 40	200	340 ~ 900
65	35 ~ 95	250	530 ~ 1400

之间,保证产生完全紊流,最小雷诺数不小于 4×10^4 。因此对应的进口体积流量值应在一定范围内等差选取,具体应用中根据依据阀门的公称通径不同来选取,如表1例举了常用的一些口径的取值范围。

4、在流道模型的出口处设置压力为0,如图7所示,分别模拟计算出不同的进

口体积流量下相应的阀前压力,然后计算出多个压差值。

5、在求解器中将流体类型设定为不可压缩流体,选取,选取 $\kappa-\varepsilon$ 湍流模型,将分析方式设定为稳态分析,利用自动收敛准则决定迭代终止,求解步数设为1000次,如图8所示。然后对多个工况分别进行求解,获得流体速度及压力分布云图,通过数据提取获得对应于每个工况的阀门进出口压力差值。

6.求解完成后通过软件内部的后处理工具得出阀前的压力 P_1 ,如图9所示。

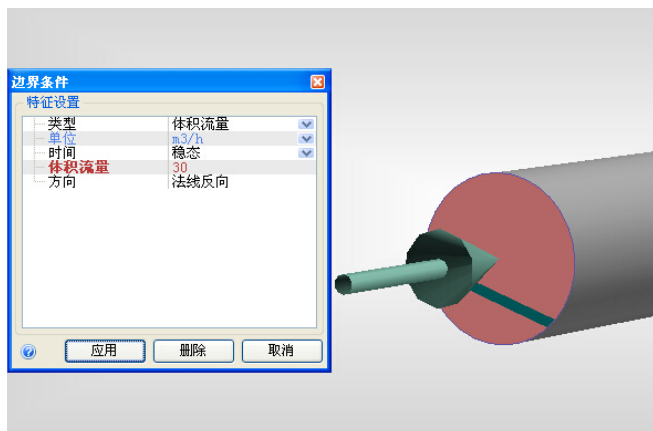


图6 入口边界条件设置

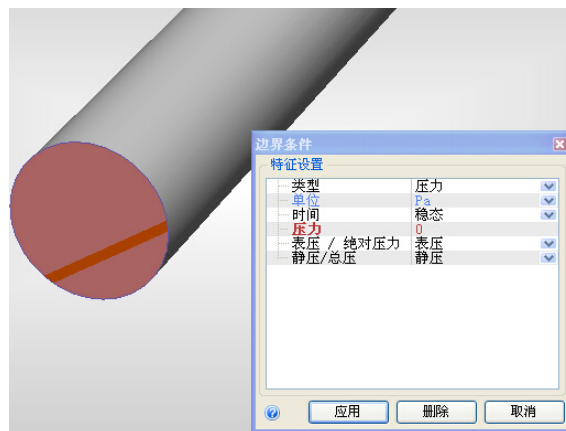


图7 出口边界条件设置

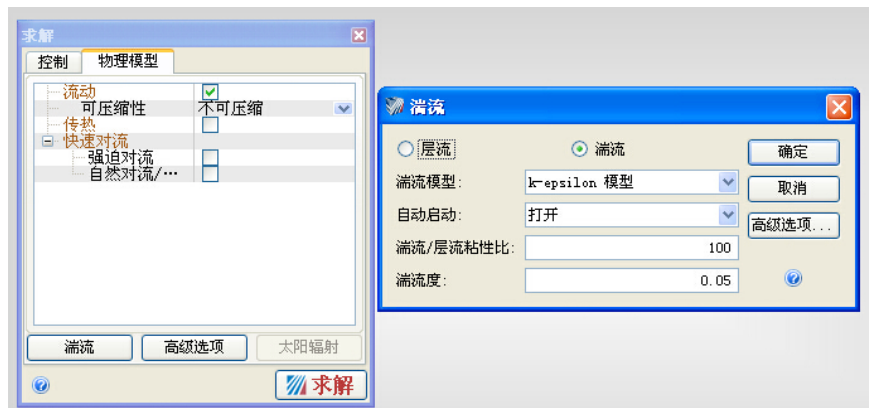


图8 求解器参数设置

摘要平面									
摘要 平面 2									
选择	结果量值	设计 1 工况1	设计 2 工况1	设计 3 工况1	设计 4 工况1	设计 5 工况1	参考	单位	绘图
<input type="radio"/>	面积	1913.23	1913.23	1913.23	1913.23	1913.23	不可用	mm²	<input type="checkbox"/>
<input type="radio"/>	体积流量	-8.34509e+06	-6.95424e+06	-5.56109e+06	-4.17075e+06	-9.73214e+06	不可用	mm³/s	<input type="checkbox"/>
<input type="radio"/>	X 方向速度	-431	-3634.83	-2906.66	-2179.96	-5086.77	不可用	mm/s	<input type="checkbox"/>
<input type="radio"/>	压力	61426.2	42221.6	30484	17425.8	89393.8	不可用	Pa	<input checked="" type="checkbox"/>

图9 通过后处理工具得到 P_1

仿真数据的整理与计算

根据上述方法对于公称通径DN50的套筒控制阀，设置体积流量边界条件时，对应的进口体积流量值在15-40m³/h中等差选取5个值，得到五种工况，分别如下：

计算工况一：进口面设置体积流量 $Q_1=15\text{m}^3/\text{h}$ ；出口面设置压力 $P_2=0$ ；

计算工况二：进口面设置体积流量 $Q_2=20\text{m}^3/\text{h}$ ；出口面设置压力 $P_2=0$ ；

计算工况三：进口面设置体积流量 $Q_3=25\text{m}^3/\text{h}$ ；出口面设置压力 $P_2=0$ ；

计算工况四：进口面设置体积流量 $Q_4=30\text{m}^3/\text{h}$ ；出口面设置压力 $P_2=0$ ；

计算工况五：进口面设置体积流量 $Q_5=35\text{m}^3/\text{h}$ ；出口面设置压力 $P_2=0$ 。

经过软件模拟计算后得到阀门压降 ΔP ，再根据公式1、公式2计算出阀门的额定 C_v 值以及流阻系数 ζ 。计算结果列于表2所示。

以此类推我们分别计算出该控制阀在不同开度下软件模拟的额定 C_v 值以及流阻系数。计算结果列于表3。

这台样机在经过形式试验测试后得到的各个开度下的流量系数，结果列于表4。

由以上两个表格的数据，我们以相对行程为横坐标，相对流量系数为纵坐标，可绘出该阀门的试验流量特性曲线和软件模拟流量特性曲线，如图10所示。从图中可看出，试验流量特性曲线与模拟曲线趋势基本一致。分析试验流量特性曲线与模拟曲线，在相对开度为40%~90%范围内，软件模拟的流量特性和实际特性基本相符。而在开度为10%~30%范围内，两者有所偏差，原因在于模拟曲线是在理想的状态下测得的数据，而在实际的测试中，阀门在小开度时阀门内部的流阻系数对流量系数的影响较大，仿真过程简化了一些复杂结构。

阀门内部流场分布

我们还可以利用CFDesign软件来观察控制阀内部的流场分布情况，取阀门全开时，研究CFDesign的分析结

表 2 软件模拟计算结果

计算工况	进口流量	阀门压降	流量系数	流阻系数	平均流量系数	平均流阻系数
	$Q\text{ (m}^3/\text{h)}$	$\Delta P\text{ (KPa)}$	C_v	ζ	$C_{v\text{avg}}$	ζ_{avg}
工况一	15	17.4	42.0	7.7	43.4	7.2
工况二	20	30.5	42.3	7.6		
工况三	25	42.2	44.8	6.8		
工况四	30	61.4	44.7	6.8		
工况五	35	89.3	43.2	7.3		

表 3 不同开度下软件模拟的流量系数

开度 (%)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
额定流量系数	1.8	3.0	4.2	5.5	7.5	10.6	15.8	24.2	34.0	43.4

表 4 不同开度下阀门的实测的流量系数

开度 (%)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
额定流量系数	2.2	3.4	4.5	5.6	7.7	10.7	16	24.3	34.5	44

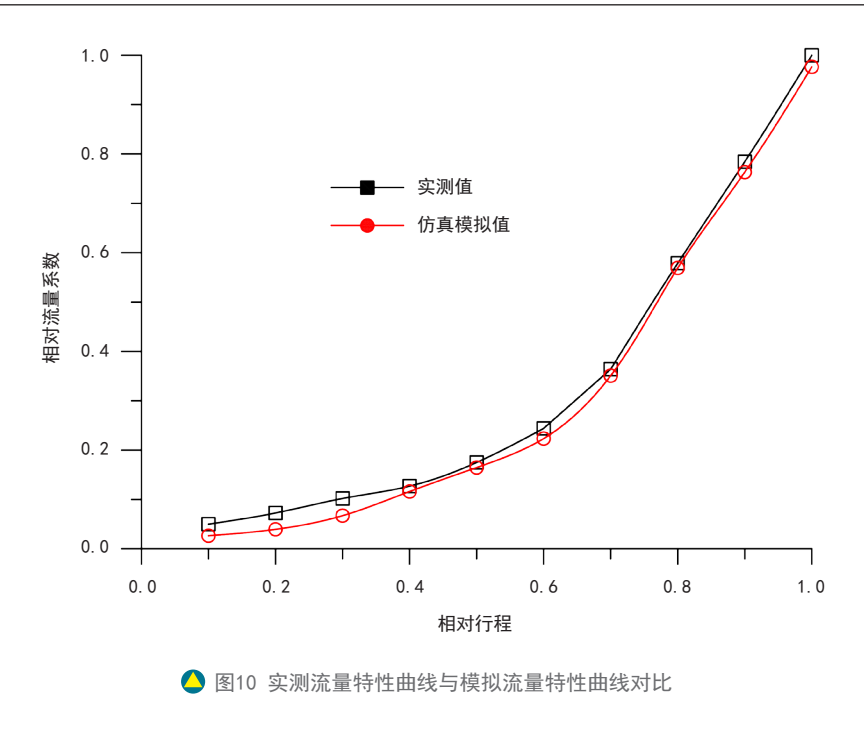


图10 实测流量特性曲线与模拟流量特性曲线对比

果。控制阀在节流处速度较快静压降低，图11为控制阀的速度云图，12为压力云图，同时我们可以通过添加轨迹线观察介质在阀门内部的流动情况如图13所示。

结语

1、CFD数值模拟可以计算控制阀的额定 C_v 值，通过调整模型可以得到不同开度下的 C_v 值，与试验的数据变化趋势相对一致，所以CFD软件适合用于验证控制阀开发初期的一些参数；

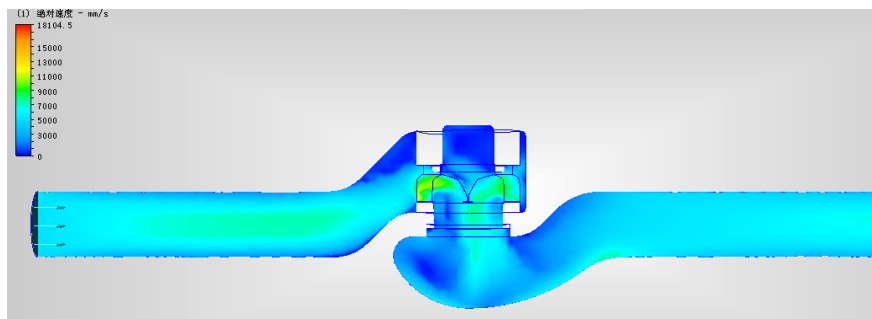


图11 速度云图

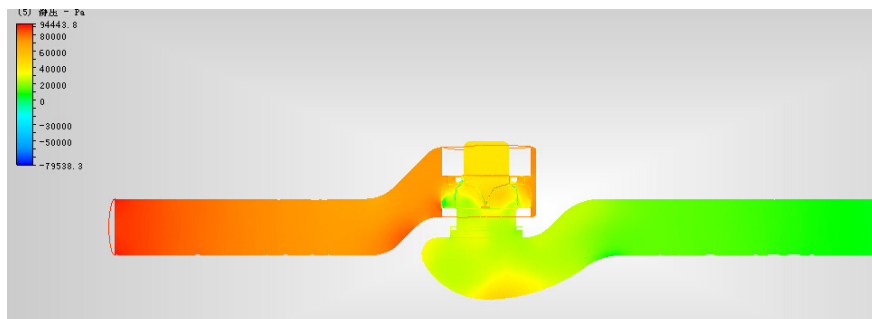


图12 压力云图

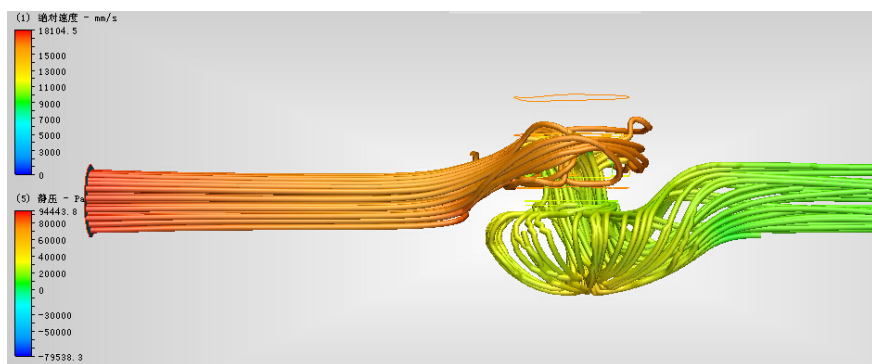


图13 速度流线图

2、数值模拟计算可以人为设定流体的性质,改变影响流动的一些参数,优化模型的结构来改变阀门的流动特性;

3、试验数据与仿真数据之间有很好的映射关系,根据仿真数据可以推算试验数据,可用于指导试验;

4、只要分析方法和分析模板是正确的,数值模拟就可以用于类似产品的分析,减少样机的生产量;

5、可以用仿真分析在设计阶段验证产品的性能并进行优化设计,减少试验工作量和成本;

6、仿真分析可以获得更多、更直观的数据,用来弥补试验的局限性。CVM

本文参考资料

- [1] 吴国熙. 调节阀使用与维修 (M). 北京: 化学工业出版社, 1999.
- [2] 杨源泉. 阀门设计手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1992.
- [3] 《IEC 60534-2-3 工业过程控制阀第2-3部分 流通能力试验程序》
- [4] 《IEC 60534-2-4 工业过程控制阀第2-4部分 固有流量特性和可调比》

本文参与艾默生Fisher®杯有奖征文评选

欢迎您对本文的评论,也希望您能参加《控制阀信息》有奖征文活动,期待您的来稿!

评论和投稿请发送至:
cvm@jixunmedia.com



艾默生FISHER®杯

EMERSON Process Management FISHER

有奖征文征稿启事

《控制阀信息》是中国控制阀行业第一本市场类、信息类的杂志,旨在繁荣中国控制阀市场,传递控制阀信息,为国内外控制阀厂商搭建与市场沟通的桥梁,创建一流的控制阀品牌服务。2015年《控制阀信息》编辑部再次携手艾默生费希尔阀门部举办“艾默生FISHER®杯”有奖征文评选活动,向广大读者诚挚征稿。

一等奖: 1名, 奖金3000元

二等奖: 2名, 奖金1000元

三等奖: 3名, 奖金500元

征文主题:

- **控制阀综述栏目**
国内外控制阀市场的评论与分析
- **应用园地栏目**
控制阀的安装与维护经验;
控制阀的故障判断与处理总结;
控制阀的改造或替换案例;
控制阀产品选型和采购的心得体会;
控制阀设计;
控制阀机械加工与制造;
控制阀标准与测试;
气、电、液执行机构选型与应用。

投稿要求:

- 所有稿件须在《控制阀信息》杂志上首次发表才可参加“艾默生FISHER®杯”有奖征文的评选。
- 语言通顺、主题明确,能清楚地阐明所涉及的主题。
 - 稿件均为电子文档,字数不少于2000字,要求配图片。
 - 给出标题、摘要及参考文献。
 - 给出作者简介,包括姓名、性别、出生年月、工作单位、职称或职务、现从事工作。
 - 给出通讯地址及联系方式(电话、传真、电子邮件),便于联系及样刊、稿费(100元/版)、奖品的邮寄。

稿件评审:

- 由《控制阀信息》资深编辑与专家委员组成论文评审组,对所有刊出的文章进行筛选,选出入围及获奖论文。
 - 开通读者评选通道,欢迎广大读者的热情参与,选出您最喜爱的文章。
- 通道一:**勾选杂志夹页中您认为值得获奖的文章,以传真或邮寄的方式反馈给我们。
- 通道二:**直接将您最喜爱的文章的评论发至:
cvm@jixunmedia.com
- 有奖征文活动时间为2015年1月1日至2015年12月10日。
 - 获奖论文评审时间为2015年12月10日至2015年12月30日。

投稿方式:

地址: 上海市新村路423弄1号楼1006室
《控制阀信息》编辑部
邮编: 200065
电话: 021-6253 5989、6258 7270
编辑QQ: 787767083
E-mail: cvm@jixunmedia.com
Http://www.jixunmedia.com