

临界流文丘里喷嘴流出系数的计算与分析

康 勇¹, 赵进涛^{1,2}, 段飞飞¹

(1. 陕西省计量科学研究院 流量计量研究所, 陕西 西安 710100;

2. 西北工业大学 航空学院, 陕西 西安 710100)

摘要: 临界流文丘里喷嘴是一种高性能的流量计量器具, 常作为气体流量计量标准应用于标准装置中, 而流出系数是其最重要的计量性能参数之一, 通常可溯源至 pVTt 法气体流量标准装置, 采用实流标定的方法进行量值确认, 也可以采用经验公式进行计算。目前经验公式有两种, 一种为 JJG 620—2008《临界流文丘里喷嘴》中给出的经验公式, 一种为 ISO 9300:2022 Measurement of gas flow by means of critical flow nozzles 中给出的经验公式, 两种公式具有相同的雷诺数适用范围, 但其考虑的流出系数影响因素不同, 计算结果有一定差异。该文对两种经验公式计算流出系数的结果与 pVTt 基准装置实流标定的流出系数结果进行了对比, 结果表明, 两种半经验公式在边界层湍流区域的计算结果相一致, 在层流区域和转捩区域存在较大差异。另外, 测试喷嘴均在层流状态下进行实流标定, 且其标定结果与两种半经验公式的计算结果存在差异, 建议在实际使用时对喷嘴的流出系数进行修正。

关键词: 临界流文丘里喷嘴; 流出系数; 雷诺数; 临界背压比

中图分类号: TB937

文章编号: 1000-0682(2024)04-0081-05

文献标识码: A

DOI: 10.19950/j.cnki.CN61-1121/TH.2024.04.016

Calculation and analysis of critical flow Venturi nozzle discharge coefficient

KANG Yong¹, ZHAO Jintao^{1,2}, DUAN Feifei¹

(1. Shaanxi Institute of Metrology Science, Shaanxi Xi'an 710100, China;

2. Northwestern Polytechnical University, School of Aeronautics, Shaanxi Xi'an 710100, China)

Abstract: The critical flow Venturi nozzle is a high-performance flow measuring instrument, often used as a gas flow measurement standard in standard equipment, and the outflow coefficient is one of its most important measurement performance parameters, which can be traced back to the pVTt gas flow standard equipment. The measurement value is confirmed using real flow calibration method, and empirical formulas can also be used for calculation. There are currently two empirical formulas, one is the empirical formula given in JJG 620—2008 "Critical Flow Venturi Nozzles", and the other is the empirical formula given in ISO9300:2022 Measurement of gas flow by means of critical flow nozzles. The two formulas have the same Reynolds number applicable range, but they consider different factors affecting the outflow coefficient, resulting in certain differences in the calculation results. This article compares the results of two empirical formulas for calculating the outflow coefficient with the results of the actual flow calibration of the pVTt reference device. The results show that the calculation results of the two semi empirical formulas are consistent in the boundary layer turbulent region, but there are significant differences in the laminar and transition regions. In addition, the test nozzles were all calibrated under laminar flow conditions, and the calibration results were different from the calculation results of two semi empirical formulas. It is recommended to correct the flow coefficient of the nozzles during actual use.

Keywords: critical flow Venturi nozzle; discharge coefficient; reynolds number; critical back pressure

收稿日期: 2024-03-13

第一作者: 康勇(1982—), 男, 汉族, 陕西西安人, 硕士研究生, 高级工程师, 研究方向为流量计量。

通信作者: 赵进涛(1985—), 男, 汉族, 陕西西安人, 硕士研究生, 工程师, 研究方向为流量计量。

0 引言

临界流文丘里喷嘴是一种计量性能稳定且优越的流量计量器具,由于其结构简单、性能稳定、准确度高,越来越多的应用于能源、环保、航空航天等领域,在气体流量计量领域,临界流文丘里喷嘴常用做气体流量量值传递标准,在气体流量的量传与溯源活动中扮演重要角色^[2]。临界流文丘里喷嘴的计量原理简单明了,当其背压比达到临界背压比时,通过喷嘴的质量流量将达到最大,不再随着背压比的减小而增大^[1],此时喷嘴喉部的流动达到声速,也称为临界状态。

临界流文丘里喷嘴中的流量计算一般基于理想气体的准一维、等熵流动,其用于实际气体的流量计量时,应采用流出系数(C_d)对理想气体理论计算流量进行修正,因此,在临界流文丘里喷嘴的计量特性中,流出系数作为其主要计量性能参数之一,关系到喷嘴计量结果的准确性。通常,确定喷嘴流出系数有两种方法,一种是利用上级基准/标准装置对喷嘴进行实流标定,给出相应喷嘴的流出系数;另一种则是利用半经验公式,对相应喷嘴的流出系数进行计算。

该研究对一套流量范围 $1 \sim 7000 \text{ m}^3/\text{h}$ 、装置扩展不确定度 $U_r = 0.33\%$ ($k = 2$) 的负压法临界流文丘里喷嘴法气体流量标准装置(以下简称临界流装置)上的临界流文丘里喷嘴在 pVTt 法气体流量国家基准(以下简称 pVTt 基准装置)上进行标定,给出了其采用实流标定法得到的流出系数。此装置中使用的临界流文丘里喷嘴,均为普通加工圆环形喉部文丘里喷嘴,其表面结构如图 1 所示。

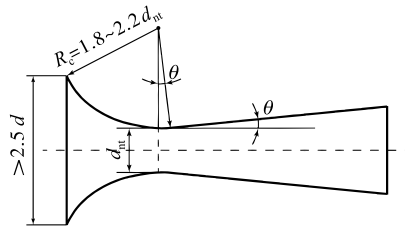


图 1 圆环形临界流文丘里喷嘴表面结构图

1 实流标定结果

该文涉及的临界流装置共有 16 只标准喷嘴,于测量范围 $0.1 \sim 1300 \text{ m}^3/\text{h}$ 、扩展不确定度 $U_r = 0.05\%$ ($k = 2$) 的 pVTt 基准装置上进行空气实流标定。标定喷嘴的几何参数及标定结果如表 1 所示。

表 1 临界流文丘里喷嘴几何参数及标定结果

序号	喉径 d/mm	滞止压力 p_0/kPa	滞止温度 $T_0/^\circ\text{C}$	质量流量 $q_m/(\text{kg}/\text{h})$	雷诺数 Re	流出系数 C_d
1	1.430	101.498	25.38	1.328 7	1.846×10^4	0.968 5
2	1.920	101.800	25.01	2.438 6	2.49×10^4	0.982 3
3	2.790	101.157	25.44	5.147 1	3.589×10^4	0.988 9
4	3.960	101.233	25.78	10.348	5.090×10^4	0.986 8
5	5.570	101.209	24.92	20.767	7.252×10^4	0.989 8
6	7.940	102.041	25.28	41.918	1.031×10^5	0.985 5
7	11.140	102.015	25.14	83.023	1.447×10^5	0.991 8
8	15.750	102.172	24.73	166.30	2.052×10^5	0.991 5
9	22.265	102.071	24.83	330.69	2.897×10^5	0.987 7
10	31.490	102.432	24.48	666.95	4.118×10^5	0.991 6
11	44.500	101.423	24.25	1318.8	5.767×10^5	0.991 4
12	44.500	101.652	24.29	1323.0	5.778×10^5	0.992 3
13	44.500	102.203	24.06	1329.1	5.814×10^5	0.991 1
14	44.500	101.159	24.82	1315.8	5.738×10^5	0.992 7
15	44.500	101.026	24.27	1328.7	5.801×10^5	0.992 9
16	44.500	101.403	24.79	1318.7	5.753×10^5	0.992 4

2 临界流文丘里喷嘴流出系数计算方法

目前,我国关于临界流文丘里喷嘴的现行规程

为 JJG 620—2008《临界流文丘里喷嘴》^[3],其编写参照国际标准 ISO 9300:2005 (E) Measurement of gas flow by means of critical flow Venturi nozzles^[4]。

JJG 620—2008 中给出几何检定法检定合格的喷嘴,其流出系数的经验计算公式为:

$$C_d = a - bRe_{nt}^{-n} \quad (1)$$

式中: a 表示喷嘴内流场核心流分布对流出系数 C_d 的影响; b 表示粘性边界层对流出系数 C_d 的影响; n 代表了整个流出系数曲线的陡峭程度, n 越大,流出系数曲线越陡峭。对于普通加工圆环形喉部文丘里喷嘴,当喷嘴喉部雷诺数 $2.1 \times 10^4 < Re_{nt} < 3.2 \times 10^7$ 时,式(1)中 $a = 0.9959$, $b = 2.720$, $n = +0.5$ 。

2022 年,ISO 9300 更新为 ISO 9300:2022 Measurement of gas flow by means of critical flow nozzles^[5],替代 ISO 9300:2005。2022 版本中,对于几何检定法检定合格的喷嘴,其流出系数的经验计算公式修正为:

$$C_d = (a - bRe_{nt}^{-n}) - \frac{(c - dRe_{nt}^{-n})}{1 + \exp\left(e - \frac{Re_{nt}}{f}\right)} \quad (2)$$

式中: a, b, c, d, e, f, n 均为经验系数; a 表示核心区流场对流出系数的影响; b 表示粘性边界层对流出系数的影响; c, d 表示湍流偏离层流趋势的影响; e 表示转捩区域曲线斜率的影响; f 表示转捩位置的影响; n 则关系到 $C_d - Re_{nt}$ 曲线的整体陡峭程度。由式(1)和(2)对比可知,与 2005 版本相比,2022 版本不仅考虑了层流边界层对流出系数的影响,还考虑了层流边界层中层流向湍流转捩以及湍流对流出系数的影响。对圆环形喉部文丘里喷嘴,2022 版本中给出了推荐的参数值, $a = 0.9990$, $b = 3.415$, $c = 0.0031$, $d = 0.690$, $e = 10$, $f = 120000$, $n = +0.5$,其适用的雷诺数与 JJG 620—2008 相同,为 $2.1 \times 10^4 < Re_{nt} < 3.2 \times 10^7$ 。目前, JJG 620—2008 并未依据 ISO 9300:2022 进行更新,两者对流出系数的计算存在差异。

本研究对临界流文丘里喷嘴的流出量系数采用 JJG 620—2008 与 ISO 9300:2022 的计算方法进行计算,并与在 pVTt 基准装置上的标定结果进行对比。

3 临界流文丘里喷嘴流出系数计算基础

在第 2 节中,给出了喷嘴流出系数的半经验计算公式(1)和(2),可知,当采用半经验公式进行流出系数计算时,需要先进行喷嘴喉部雷诺数的计算,喉部雷诺数的计算是半经验公式计算喷嘴流出系数的基础。

计算喷嘴使用工况的喉部雷诺数时,首先要计算喷嘴的质量流量。实际气体的质量流量 q_m 用式(3)计算:

$$q_m = A_{nt} C_d C^* \frac{p_0}{\sqrt{\left(\frac{R}{M}\right) T_0}} \quad (3)$$

式中: A_{nt} 为喷嘴喉部的横截面积; C_d 为喷嘴的流出系数; C^* 为真实气体的临界流函数; p_0 和 T_0 分别为滞止温度和滞止压力; R 为气体常数; M 为气体的摩尔质量。由式(3)可知,喷嘴的质量流量与计量过程的滞止压力 p_0 成正比,与滞止温度 T_0 的算数平方根成反比。实际使用时,可以用标准装置测量喷嘴的质量流量。

临界流文丘里喷嘴的喉部雷诺数用式(4)计算:

$$Re_{nt} = \frac{4q_m}{\pi \mu_0 d_{nt}} \quad (4)$$

式中: μ_0 为滞止状态下气体的动力粘度; d_{nt} 为喷嘴的喉部直径。

其中,动力粘度 μ_0 可萨兰公式,即由式(5)求得:

$$\mu_0 = \mu_{15} \left(\frac{T_0}{288.15} \right)^{1.5} \frac{288.15 + B}{T_0 + B} \quad (5)$$

式中: $\mu_{15} = 1.7894 \times 10^{-5}$, $B = 110.4$ 。

由式(3)~式(5)可知,喷嘴的计量性能与介质的滞止状态密切相关,当滞止状态确定之后,相应的雷诺数就确定了。在本研究中,为了在同一状态下将经验公式的计算结果与 pVTt 基准装置的标定结果进行对比,采用表 1 中实流标定时的基本条件,包含滞止条件、雷诺数等参数。

采用经验公式对临界流喷嘴的流出系数进行计算时, JJG 620—2008 和 ISO 9300:2022 的限定条件均为 $2.1 \times 10^4 < Re_{nt} < 3.2 \times 10^7$,从表 1 中可知,1 号喷嘴的检定雷诺数并不满足式(1)和式(2)的使用条件,因此,1 号喷嘴不进行结果对比。

4 计算结果对比

采用表 1 中各喷嘴在 pVTt 基准装置上实流标定的雷诺数作为已知条件,利用式(1)和式(2)对表 1 中的临界流喷嘴进行流出系数的计算,计算结果如表 2 所示。

图 1 将 JJG 620—2008 和 ISO 9300:2022 中流出系数的计算结果与相同条件下 pVTt 实流标定结果进行了对比,图 2 中用 pVTt 实流标定结果对两种

经验公式结果进行归一化处理。

图 1、图 2 显示结果与趋势一致。由图可知,当喷嘴喉径小于 10 mm 时(2#-6#喷嘴),JJG 620—2008 和 ISO 9300:2022 经验公式计算结果一致,但与 pVTi 基准装置标定结果差异较大。当喷嘴喉径较大时(10#-11#喷嘴,注意 11#-16#喷嘴为同一规格喉径的喷嘴),JJG 620—2008 的计算结果与 pVTi 基准装置标定结果较为一致,且当喷嘴直径大于 10 mm 时,ISO 9300:2022 的计算结果大于 JJG 620—2008 的计算结果。

从图 2、图 3 总体趋势来看,在小喷嘴中,两种经验公式计算出的流出系数值要比实流标定值小,

而随着喷嘴喉部直径的增大,ISO 9300:2022 中的经验公式计算得到的喷嘴流出系数值大于 pVTi 基准装置的标定值。

将 ISO 9300:2022 流出系数计算公式分为两部分:

$$C_{d1} = a - bRe_{nt}^{-n} \quad (6)$$

$$C_{d2} = \frac{(c - dRe_{nt}^{-n})}{1 + \exp\left(e - \frac{Re_{nt}}{f}\right)} \quad (7)$$

在 ISO 9300:2022 经验公式的分解中,式(6)只考虑了核心流及粘性边界层的影响,式(7)只考虑了边界层流动转捩及湍流的影响。

表 2 临界流文丘里喷嘴几何参数及标定结果

	流出系数 C_d															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
pVTi 基准装置 标定数据	0.968	0.982	0.988	0.986	0.989	0.985	0.991	0.991	0.987	0.991	0.991	0.992	0.991	0.992	0.992	0.992
JJG 620—2008 计算数据	/	0.978	0.981	0.983	0.985	0.987	0.988	0.989	0.990	0.991	0.992	0.992	0.992	0.992	0.992	0.992
ISO 9300:2022 计算数据	/	0.977	0.981	0.983	0.986	0.988	0.990	0.991	0.992	0.993	0.994	0.994	0.994	0.994	0.994	0.994

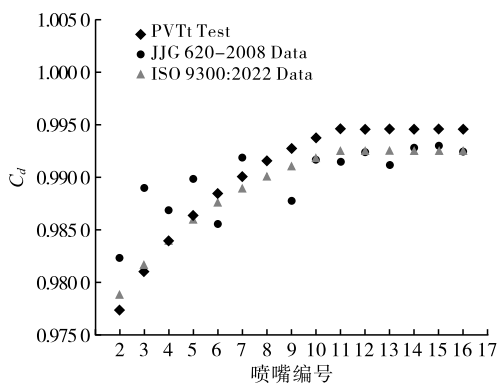


图 2 流出系数计算结果与 pVTi 实流标定结果对比

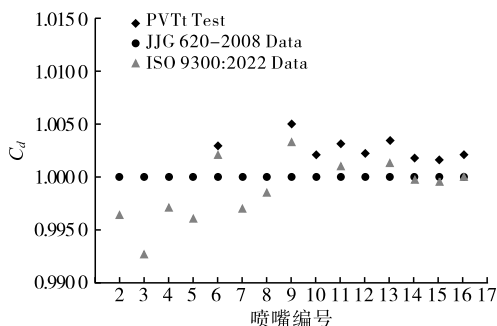


图 3 流出系数计算结果归一化显示

将式(6)和式(1)的结果进行对比,即对 ISO 9300:2022 和 JJG 620—2008 中的经验公式,只考虑

核心流及粘性边界层对流出系数的影响,两者不同的 a 和 b 参数取值,会对计算结果有何种影响,对比结果如图 4 所示。

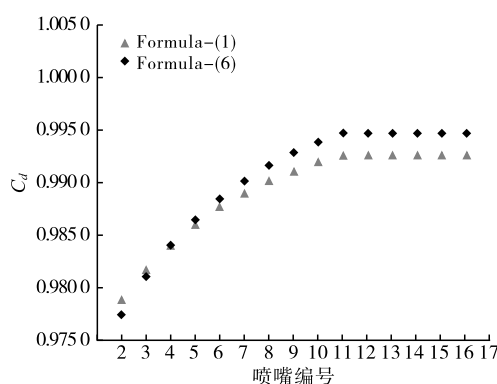


图 4 式(6)与式(1)计算结果对比

由图 4 的对比可知,随着喷嘴喉部的增大,ISO 9300:2022 中经验公式只考虑核心流及粘性边界层对流出系数的影响时(式(6)),其流出系数曲线要比 JJG 620—2008 中(式(1))的计算所得的流出系数曲线更为“陡峭”,且在 2#-4#喷嘴,式(6)的计算结果小于式(1)的计算结果。当喷嘴喉径大于#4 喷嘴喉部直径时,式(6)的计算结果大于式(1)的计算结果。 a 和 b 的取值与流出系数曲线的陡峭程度有关。

将式(6)与式(2)的计算结果进行比较,即比较 ISO 9300:2022 经验公式中不考虑边界层转捩及湍流影响的计算结果与考虑边界层转捩与湍流影响的计算结果进行比较,得到图 5 结果,可知,边界层转捩及湍流在实验喷嘴的流出系数计算中并无影响。

为了探究其原因,进一步分析 JJG 620—2008 和 ISO 9300:2022 经验公式理论曲线($C_d - Re_m$ 曲线),以及 pVTt 基准装置实流标定结果之间的关系。

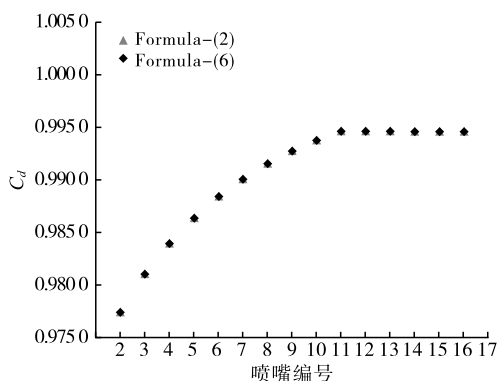


图 5 式(6)与式(2)计算结果对比

图 6 中给出了 JJG 620—2008 和 ISO 9300:2022 中经验公式曲线及 pVTt 实验结果图。

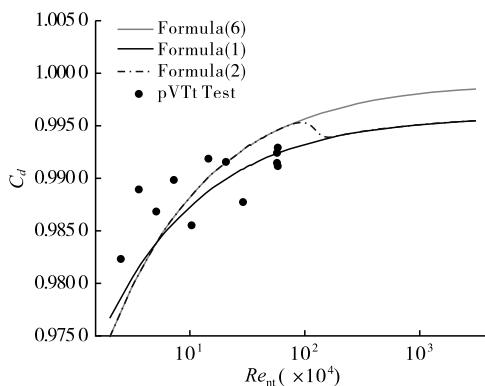


图 6 JJG 620—2018 与 ISO 9300:2022 经验公式理论计算曲线与 pVTt 实流标定结果对比

由图 6 可知,在 ISO 9300:2022 的计算公式中,若不考虑边界层转捩及湍流影响,随着雷诺数的增加,ISO 9300 中经验公式的计算结果从与 JJG 620—2008 的计算结果总体趋势一致,但其值从最初小于 JJG 620—2008 计算结果,变得大于 JJG 620—2008 计算结果。当考虑了边界层转捩与湍流的影响时,即式(2)计算得到的曲线,可知曲线在雷诺数为 $0.8 \times 10^6 \sim 1.8 \times 10^6$ 时,流出系数随着雷诺数的增大而减小,此区域通常为粘性边界层到湍流边界层的过

渡区,称为边界层转捩区,这与 2009 年, Mikcan 等^[6]的研究结果一致,他发现流出系数层流边界层向湍流边界层的转捩发生在雷诺数为 1.0×10^6 左右。在图 6 中,雷诺数小于 0.8×10^6 时,为层流区,大于 1.8×10^6 时,边界层流动变为湍流,且在湍流区,式(2)的计算结果与 JJG 620—2008 经验公式在湍流区域中的计算结果相重合。由此可知, JJG 620—2008 的经验公式与 ISO 9300—2022 的经验公式,在计算湍流边界层的流出系数时保持一致,在计算层流边界层和边界层转捩的流出系数时有所差异。

另外,由图 6 可知,该文中实流标定喷嘴的雷诺数均处于层流区,这也是喷嘴应用条件较好的一个区域。但是实流标定结果与经验公式计算结果还有一定差距。

由对比结果可知,在确定临界流文丘里喷嘴的流出系数时,使用半经验公式的计算结果并不能完全替代实流标定结果,在使用喷嘴的流出系数时,需要对其进行修正。

4 结论与展望

当采用几何尺寸法对临界流文丘里喷嘴检定合格后,可采用经验公式对文丘里喷嘴的流出系数进行计算。

目前,国内现行版本经验公式为 JJG 620—2008 《临界流文丘里喷嘴》中的计算公式,其实际参考的 ISO 9300:2005 中的内容。但是,ISO 9300 已于 2022 年进行更新,目前 2022 版本中的公式与 2005 版本相比,考虑了喷嘴喉部边界层转捩和湍流的影响。该文采用 JJG 620—2008 与 ISO 9300:2022 中的经验公式对测试喷嘴的流出系数进行计算,并与 pVTt 基准装置对测试喷嘴的标定结果进行了对比。

对比结果显示, JJG 620—2008 的经验公式与 ISO 9300—2022 的经验公式,在计算湍流边界层的流出系数时结果相近,在计算层流边界层和边界层转捩的流出系数时差异较大,且 JJG 620—2008 的经验公式曲线并未显示出边界层转捩区域的流出系数特征。

另外,该文实流标定喷嘴的雷诺数均处于层流区,实流标定结果与经验公式计算结果还有一定差距。建议在使用喷嘴时,要根据特定的喷嘴对其流出系数进行修正,流出系数的修正方法将在后续研究中给出。

(下转第 97 页)

于灵敏度矩阵降维的 EMT 图像重建算法。此算法首先利用 KPCA 对灵敏度矩阵做降维处理,然后通过 SVD 求广义逆的方法算出图像重建结果。最后,将该算法应用于平面 EMT 金属探伤,对多种缺陷的成像效果进行了仿真和实验。仿真和实验的结果表明,在成像质量方面,该文提出的算法与传统的 Landweber 迭代法相近,可以对缺陷有效成像。在成像速度方面,该文提出的算法比 Landweber 迭代法快速很多,其算法耗时仅为 Landweber 迭代法的 20% 左右。

参考文献:

- [1] XIANG J X, DONG Y G, YANG Y J. Multi-frequency electromagnetic tomography for acute stroke detection using frequency-constrained sparse bayesian learning [J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2020, 39 (12): 4102-4112.
- [2] 胡亚峰. 面向气液固三相流检测的快速电/磁层析成像系统设计[D]. 天津:天津大学,2022.
- [3] Semenov S. Electromagnetic tomographic cerebral angiography [J]. Scientific reports, 2024, 14(1): 1792-1792.
- [4] 王成飞. 高速列车空心轴电磁层析成像缺陷检测技术研究[D]. 北京:北京交通大学,2020.
- [5] 霍继伟,刘泽,王亚东,等. 平面电磁层析成像钢轨探伤[J]. 中国电机工程学报, 2021, 41(15): 5351-5361.
- [6] 刘泽,肖君,刘向龙,等. 一种电磁层析图像快速重建算法[J]. 北京航空航天大学学报, 2018, 44(08): 1569-1576.
- [7] 王亚东,刘泽,霍继伟,等. 基于 SOA 优化的电磁层析成像图像重建研究[J]. 计算机测量与控制, 2020, 28(12): 207-212.
- [8] GUO R, HUANG T Y, LI M K, et al. Physics-Embedded Machine Learning for Electromagnetic Data Imaging: Examining three types of data-driven imaging methods [J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2023, 40(2): 18-31.
- [9] LIU X, LIU Z, LI Y, et al. Research on direct 3D electromagnetic tomography technique [J]. IEEE Sensors Journal, 2020, 20(9): 4758-4767.
- [10] 霍继伟. 高速电磁层析成像关键技术研究及应用[D]. 北京:北京交通大学,2021.
- [11] 冯旭刚,文作银,章家岩,等. 基于 KPCA-AGRU 神经网络的火电机组 NO_x 排放预测[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2023, 40(06): 18-24.
- [12] 王艳,颜华,王伊凡,等. 基于降维处理的 Tikhonov 正则化 ECT 图像重建[J]. 中国电机工程学报, 2022, 42(24): 9118-9126.

(上接第 85 页)

参考文献:

- [1] 李春辉,王池. 音速喷嘴扩张段对流出系数的影响[J]. 计量学报, 2008, 29(5): 423-426.
- [2] 王超,王刚,丁红兵. 音速喷嘴内水蒸气自发凝结流动自激励振荡和分歧现象[J]. 天津大学学报(自然科学与工程技术版), 2016, 46(11): 1113-1120.
- [3] 全国流量容量计量技术委员会. 临界流文丘里喷嘴: JJG 620—2008[S]. 北京:国家质量监督检验检疫总局,2008.
- [4] Measurement of gas flow by means of critical flow Venturi nozzles: ISO 9300:2005[S]. Switzerland: British Standard Institution, 2022.
- [5] Measurement of gas flow by means of critical flow nozzles: ISO 9300:2022[S]. Switzerland: British Standard Institution, 2022.
- [6] BMickan, R Kramer. Experiences with sonic nozzles used for different gases and wide range of pressure and temperature conditions [C]//Proceedings of 7th International Symposium on Fluid Flow Measurement, Anchorage, Alaska, 2009.

(上接第 91 页)

参考文献:

- [1] 住房和城乡建设部信息技术应用标准化技术委员会. 户用计量仪表数据传输技术条件: CJ/T 188—2018[S]. 北京:中国标准出版社,2019.
- [2] 全国城镇供热标准化技术委员会. 热量表: GB/T 32224—2020[S]. 北京:中国标准出版社, 2021.
- [3] 全国电工仪器仪表标准化技术委员会. 社区能源计量抄收系统规范 第 3 部分: 专用应用层: GB/T 26831.3—2012[S]. 北京:中国标准出版社,2013.
- [4] 刘彪,张进智,张巧,等. 通用串口数据协议解析与显控系统的设计与实现[J]. 计算机技术与发展, 2023, 33(07): 80-84.
- [5] 何敬上,何剑锋,袁兆林,等. 多串口网络化异构辐射数据采集与实时传输系统设计[J]. 仪表技术与传感器, 2020(05): 84-87.
- [6] 周秉直,王慧元,李锋,等. 基于 M-BUS 和 GPRS 的热量表耐久性远程监控系统的研究[J]. 工业仪表与自动化装置, 2017(05): 30-32+70.