

蒸汽计量中存在的两大难题

郑灿亭¹, 孙晓峰¹, 吴兆喜¹, 金涛²

(1. 北京中石化计量检定站, 北京 102500; 2. 北京燕山石化集团公司 机动部, 北京 102500)

摘要: 介绍了蒸汽计量的现状和存在的两大难题: 一个是蒸汽流量计属于强制检定计量器具, 但是, 目前国家尚无有对其实施强检的标准装置, 无法溯源; 另一个是国家没有统一的“水蒸汽密度表”标准! 致使蒸汽计量器具无法溯源。这两大难题严重地制约着中国蒸汽计量水平, 各企业产品成本计算中对“蒸汽量”仍是按“摊派量”计算的为多。为此, 呼吁国家有关部门, 为适应中国强化能源计量管理的形势, 尽快组织有关单位和专家, 积极投资, 投入人力和物力, 早日攻克“蒸汽计量”中的两大难题。

关键词: 蒸汽计量; 计量检定装置; 蒸汽流量计; 蒸汽密度表

中图分类号: TH814

文献标识码: B

文章编号: 1007-7324(2007)02-0085-04

蒸汽是各生产企业重要的二次能源, 有的直接参与生产过程化学反应, 但多数是用其热能。企业在谈论节能降耗, 一般首先会想到“蒸汽”。从眼前本单位利益出发, 降低生产成本需要降低蒸汽损耗; 从大处想, 中国能源短缺, 更需要降低各种能耗。谈论节能降耗, 应首先想到是能源的“计量”, 只有有了准确计量, 才有资格说节约了多少能源。在蒸汽计量方面, 现状如何? 存在什么问题?

1 蒸汽计量的现状

由于蒸汽计量系统, 压力和温度都是较高的, 饱和蒸汽又易变为汽、液两相流, 相比之下测量难度较大。从处理北京燕山石化集团公司这个特大型企业, 蒸汽计量纠纷情况看, 从 1993 年 4 月至 1995 年 4 月两年时间内收到“申请仲裁书”12 件, 其中蒸汽计量纠纷有 5 件, 占整个公司计量纠纷的 41.7%, 占的比重很大。如果统计到 1998 年 4 月, 5 年内共收到 25 件计量纠纷, 蒸汽计量纠纷仍为上述 5 件(这 3 年出现的蒸汽差量均在下边协商解决了), 所占比例为 20%, 此数据也不小。产生计量纠纷的原因是什么呢? 通过数十次对现场调查分析, 最主要的是计量器具方面的原因。

根据该公司蒸汽计量采用孔板差压式流量计为多, 特别是 20 世纪 70 年代建的老装置中, 可以说绝大多数为此类仪表。该类计量器具的优势是, 标准节流装置有国标支持不用检定(所以采用得多), 但是它存有一定的弱点: 它的量程比小, 一般为 3:1; 若运行在 30% 流量刻度以下时, 其精度下降较大; 运行工况条件离开原设计条件时, 测量误差会增大; 再如孔板检测系统中部件多, 引压管系统易堵、易漏、易冻、易汽化等特点, 造成仪表一次

安装工程量大, 费用高; 维修工作量亦大; 孔板为节流型, 压力损失大, 长期运行耗能大, 费用高; 长期运行中孔板几何尺寸变化, 锐角变钝(锐角要求 $r = 0.0004d$, 而有关专家试验后公布, 运行的头二三年中每年磨损半径 r 增加 0.04 mm, 而五六年之后才趋向稳定。由于锐角变钝, 孔板流量系数会变); 甚至有的孔板在开停车过程中, 由于蒸汽管道中易存冷凝水, 开停蒸汽管道过程中产生水垂, 致使孔板变形, 甚至变成喇叭口。所有这些都说明, 孔板差压式蒸汽流量计很难保证其原设计测量精度。虽然目前已出现孔板、变送器一体化产品, 二次仪表也已微机化、智能化, 使孔板量程比可提高到 10:1。但是孔板本身锐角会变钝造成流出系数变化, 使测量误差增大尚不能克服改善。尽管已有钝化的孔板产品出现, 但其相应的钝化标准及其检测器具配套尚待完善, 再者它属于非标准孔板, 与其他非标准型检测件——如耐高温的涡街流量计、弯管流量计、阿丑巴(均速管之类)流量计等一样, 均应经过逐台检定, 才可用于蒸汽计量。标准孔板运行、磨损几年后, 应检测定出新的流出系数, 才可保证其测量准确度。但是目前还没有这方面的要求和标准。

随着仪表制造技术的提高, 耐高温的涡街流量计、弯管流量计、阿丑巴(均速管之类)流量计等在蒸汽系统测量中应用越来越多, 但是它们也

收稿日期: 2006-10-26; 修改稿收到日期: 2006-12-20

作者简介: 郑灿亭(1939—), 男, 河北东光人, 1964 年毕业于北京化工学院化工机械系化工过程自动化专业, 任职于北京中石化计量检定站, 高级工程师。

各有各的弱点,像涡街流量计它耐高温只能达到 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$,对 $320\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上的蒸汽系统使用涡街流量计尚缺乏经验,何况它测量要求的雷诺数比孔板差压式流量计高出一倍,其更大的弱点是抗振性能差。阿丑巴、弯管等之类的流量计所产生的差压信号值较低,给差压信号检测带来一定难度。总之适用蒸汽计量的检测仪表的性能还有待提高和改进,适用蒸汽计量的计量器具的选择余地还有待拓宽。衡量蒸汽计量器的优劣或精度等级还存在两大难题。

1.1 蒸汽流量计量器具无处送检

“蒸汽流量计的检定”手段不完备,是制约蒸汽计量工作的重要环节。以蒸汽为工作介质的“蒸汽流量计量检定装置”在烟台、广州、兰州等地都出现过,由于这种装置浪费能源、难以操作、检定精度低、费用高,没有发展前途,没有坚持下来。正因蒸汽流量计无处检定,应走周检的涡街、弯管、阿丑巴、分流旋翼式等用于蒸汽流量测量的流量计,也难以实现。这里提到蒸汽计量检定装置有它的不足之处,已陆续退出历史舞台。代之兴起的是用压缩空气代替蒸汽进行蒸汽流量计的检定。但是,这方面还有待研究完善。从目前看,包括国外,这方面的资料、数据还太少,更无什么标准可依。无论是从理论上还是实践数据上,还应作大量的实践工作,以达到实用化、标准化。

就用压缩空气代替蒸汽进行蒸汽流量计检定的问题,查一段该公司在这方面做的工作:笔者1982年参加化工部系统流量测量技术交流会,会上交流一篇“浅谈蒸汽流量计的标定”^[4](后改为“介绍一种蒸汽流量计的标定方法”刊登在“炼油化工自动化”杂志上)^[3]。1989年该公司计控处自己设计一套蒸汽流量计量检定装置,是利用中压过热蒸汽(名义上压力为 1.5 MPa ,温度为 $250\text{ }^{\circ}\text{C}$),经过检定装置后,降为 $0.3\sim 0.5\text{ MPa}$ 的低压蒸汽作为罐区装置伴热和采暖用。同时引进工艺杂用风(即压缩空气)。标准是音速喷嘴。拟对 $DN150\text{ mm}$ 口径以下的各种蒸汽流量计实施实流标定,方法是对同一台蒸汽流量计,分别用蒸汽和压缩空气介质进行检定,找出空气代蒸汽的规律,最终成为气(汽)体流量计量检定装置。设计完后,首先请国家计量院等单位的专家审核,定案后于1990年开工兴建,建成后试压、吹扫,送汽试运行完成后,即将试验、测试数据,以便请计量院专家做技术性能测试检定和请市局授权。然而,因 300 kt/a 乙烯改造为 450 kt/a 用地,立即拆除。由

于各种原因至今未能建成投用。1994年笔者完成一篇“浅议以压缩空气代替蒸汽对蒸汽流量计进行标定”的文章,1995年在大庆全国流量专业技术交流会上交流,并被推荐到1996国际流量专业委员会召开的流量技术研讨会上,文章被收录到“96'国际流量专业技术研讨会论文集”内。该文从流体力学角度出发,利用其相似原理,即两种流体的流束几何相似、雷诺准数相同、流量系数相等的原理,并以等体积法或等密度法,推算出空气和蒸汽二者量的关系,说明以压缩空气代替蒸汽检定蒸汽流量计是有理论依据的。

国外在以空气代替蒸汽进行蒸汽流量计标定进行到什么程度,问过不少权威及商社,均说“在研究”。直到今天笔者仍是有机会就向诸位专家、权威和国外大的蒸汽流量计仪表厂商咨询,“有没有同1台流量计分别用空气和蒸汽检定的数据”“用空气检定某流量计误差为 X ,用来测量不同压力 and 不同温度蒸汽时误差会是多少”等问题,均没有得到肯定的回答。

插入上一段内容的目的,是想说明,目前蒸汽流量计无法检定是阻碍蒸汽准确计量的主要障碍!目前距用空气代替蒸汽进行蒸汽流量计检定,还有一段距离!国内,现实中也听说有用空气作介质检定蒸汽流量计的,如某分流旋翼式蒸汽流量计制造厂,称其产品是请某检定站逐台检定,精度准确可靠,问其流量计安装到不同压力 and 不同温度蒸汽管道上应用,误差是多少?回答是在空气装置上优于 4% ,测量蒸汽也在这个误差范围之内。后来笔者了解到这家检定站是用微压——几十毫米水柱($1\text{ mm H}_2\text{O}=9.8065\text{ Pa}$)压力的空气做介质给检定的。试想分流旋翼式蒸汽流量计一路走高温高压汽;一路(小孔)走冷凝水的,而在常温下用微压空气检定的误差就是走蒸汽的误差能说得通吗?

根据笔者参加两次“蒸汽计量研讨”会——仪表学会节能应用技术分会举办的“全国蒸汽流量计量研讨会”和计量协会能源计控委员会与中石化化工事业部联合举办的“蒸汽准确计量技术研讨会”的体会,前者会中大谈蒸汽流量计无法检定是影响蒸汽计量的主要问题。

为了搞好蒸汽的计量,建议国家有关部门投资搞好此项研究开发和建标工作。具体做法是国家有关部门投资、立项,筹建蒸汽计量标准装置(不能再搞浪费型蒸汽标准装置),与有条件的企业合作,利用企业富裕的中压蒸汽和压缩空气,选用数种类型、数种规格的蒸汽流量计,利用蒸汽和空气两种介

质进行检定对比。在掌握有一定数量(当然越多越好)的实践数据基础上,统计、归纳出某种公式或某系数及其误差范围后,召开具有一定级别的鉴定会进行鉴定,成熟的话就可推广应用,直至建立成节能型的以空气代替蒸汽检定蒸汽流量计的标准装置。

1.2 没有统一的“水蒸汽密度表”标准

据权威专家介绍,ISO 国际标准委员会还没有制定或确认统一的“水蒸汽密度表”。中国在“GB2624-81”国标中推荐过一种“水蒸汽密度表”(表中所涉及的压力单位为非法定计量单位 kgf/cm^2),到 1993 年修订时,将其删除了。至今在任何国家或行业标准中,再也没有出现过“标准”的水蒸汽密度表^[2]。目前国内流行的水蒸汽密度表或水蒸汽密度计算公式有多种,如:

a) GB2624-81 推荐的水蒸汽密度表^[1];

b) 孙准清、王建中两位高级工程师编著“流量测量节流装置设计手册”中的水蒸汽密度表(来源于赵兆颐教授翻译的德国资料,与 1967 IFC 公式基本相符);

c) 孙延祚教授翻译美国 R. W. 米勒编著“流量测量工程手册”中的水蒸汽密度表;

d) 从台湾传到上海的,据说是美国某协会的“具有‘火用’参数的水和水蒸汽性质参数手册(密度表)”等。

至于计算水蒸汽密度的计算公式就更多了,单

位选用 1967 IFC 公式较多,现择录如下。

$$v_r = \frac{v}{v_c} = I_1 \frac{T_r}{p_r} - B_{11}x^{13} - B_{12}x^3 - 2p_r(B_{21}x^{18} + B_{22}x^2 + B_{23}x) - 3p_r^2(B_{31}x^{18} + B_{32}x^{10}) - 4p_r^3(B_{41}x^{25} + B_{42}x^{14}) - 5p_r^4(B_{51}x^{32} + B_{52}x^{28} + B_{53}x^{24}) - [6p_r^7(B_{61}x^{24} + B_{62}x^{14})](p_r^6 + BB_{81}x^{54} + BB_{82}x^{27})^{-2} + 11\left(\frac{p_r}{p_1}\right)^{10}(B_{90} + B_{91}x + B_{92}x^2 + B_{93}x^3 + B_{94}x^4 + B_{95}x^5 + B_{96}x^6) - [4p_r^5(B_{61}x^{12} + B_{62}x^{11})](p_r^4 - BB_{61}x^{14})^{-2} - [5p_r^6(B_{71}x^{24} + B_{72}x^{18})](p_r^5 + BB_{71}x^{19})^{-2} \quad (1.2.72)$$

$$\text{式中} \quad T_r = \frac{T}{T_c}, \quad p_r = \frac{p}{p_c}, \quad v_r = \frac{v}{v_c}$$

$$T_c = 647.3 \text{ K},$$

$$p_c = 22.12 \times 10^6 \text{ Pa},$$

$$v_c = 0.00317 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$p_1 = l_0 + l_1 T_r + l_2 T_r^2$$

$$x = \exp[0.7633333333(1 - T_r)]$$

$$\rho = (0.00317 v_r)^{-1}$$

式中常数(在 $p_c = 22.12 \text{ MPa}$, $T_c = 647.3 \text{ K}$, $v_c = 0.00317 \text{ m}^3/\text{kg}$, $I_1 = 4.260321148$ 状态下)如表 1 所列。

表 1 1967 IFC 公式常数表

$B_{11} = 0.066703759$	$B_{42} = -0.08847535804$	$B_{61} = 0.006552390126$	$B_{96} = 523.5718623$
$B_{12} = 1.388983801$	$B_{51} = 0.5958051609$	$B_{82} = 0.0005770218649$	$BB_{61} = 0.4006073948$
$B_{21} = 0.08390104328$	$B_{52} = -0.5159303373$	$B_{90} = 193.6587558$	$BB_{71} = 0.08636081627$
$B_{22} = 0.02614670893$	$B_{53} = 0.2075021122$	$B_{91} = -1.388522425$	$BB_{81} = -0.8532322921$
$B_{23} = -0.03373439453$	$B_{61} = 0.1190610271$	$B_{92} = 4.126607219$	$BB_{82} = 0.3460208861$
$B_{31} = 0.4520918904$	$B_{62} = -0.09867174132$	$B_{93} = -6.508211677$	$l_0 = 15.74373327$
$B_{32} = 0.1069036614$	$B_{71} = 0.1683998803$	$B_{94} = 5.745984054$	$l_1 = -34.17061978$
$B_{41} = -0.5975336707$	$B_{72} = -0.05809438001$	$B_{95} = -2.693088365$	$l_2 = 19.31380707$

蒸汽是工矿企业应用最广的二次能源之一,虽然知道其密度是温度和压力的函数,但它们之间的关系很难用简单的函数关系式表示。图省事,宁愿降低计量精度,根据本单位蒸汽压力、温度等条件,选用简单的密度公式,如:

饱和蒸汽密度与压力之间关系如下。

$$\text{a) } \rho = \frac{1}{1.7235} p^{15} \quad (\text{使用条件: } p_{\text{绝}} \leq 2 \text{ MPa})$$

$$\text{b) } \rho = AP + B \quad \text{或} \quad \rho = A(P + B/A) \quad (\text{不同压力}$$

范围 A 和 B 值都不同)

过热蒸汽的密度与压力、温度之间关系。

$$\text{a) } \rho = \frac{190.89 p}{t - 1.814 p + 222.6} \quad (\text{条件: } 0.2 \sim 2.5 \text{ MPa}; 150 \sim 420 \text{ }^\circ\text{C}; \text{过热} \geq 30 \text{ }^\circ\text{C});$$

$$\text{b) } \rho = \frac{1.82 p}{\frac{t}{100} + 1.66 - 0.55 \frac{p}{100}} \quad (\text{条件: } 1 \sim 15 \text{ MPa}; 300 \sim 550 \text{ }^\circ\text{C});$$

$$c) \rho = \frac{1}{\frac{0.461 + 125.82}{p} \times 10^3 - \frac{1}{0.9t - 110}}$$

(条件: 1~17 MPa; 320~540 °C);

$$d) \rho = \frac{1}{\frac{0.462 + 126.1}{p} \times 10^3 - 9.7 \times 10^3 + 1.32 \times 10^5 t}$$

(条件: 0.1~24 MPa; 120~600 °C);

$$e) \rho = \frac{18.88 p}{0.01 t - 0.22045 p + 2.10977} \quad (\text{条$$

件: 0.6~1.5 MPa; 160~250 °C);

$$f) \rho = \frac{19.44 p}{0.01 t - 0.151 p + 2.1627} \quad (\text{条$$

件: 0.6~2 MPa; 250~400 °C);

$$g) \rho = \frac{18.56 p}{0.01 t - 5.608 \times 10^2 p + 1.66} \quad (\text{条$$

件: 1~14.7 MPa; 400~500 °C);

$$h) \rho = \frac{1}{0.0047 \frac{t}{p} - \frac{1.45}{\left(\frac{t}{100}\right)^{3.1}} - \frac{5800 p^2}{\left(\frac{t}{100}\right)^{13.5}}}$$

(条件: 0.5~4 MPa; 200~450 °C; 燕山石化公司动力厂使用此公式进行温、压补偿);

$$i) \rho = \frac{p}{0.005 t + 1.2028 - 0.0074 p} \quad (\text{条$$

件: 0.5~1.5 MPa; 250~350 °C);

$$j) \rho = \frac{p}{0.0044 t} \quad (\text{条$$

件: 0.5~11 MPa; 200~560 °C)。

(上述密度计算公式的精度约为: 0.2~4, 但它们依据的标准是什么, 不知。)

试想国内流行这么多水蒸汽密度表和求水蒸汽密度的公式, 国家没有统一的“水蒸汽密度表”标准, 各企业和各蒸汽流量计制造厂, 各行其是, 同一个流量值, 用不同企业的计量器具测量, 显示值肯定不一样, 以哪家计量器具显示的为准?! 计量精确度又以什么为标准?

因此呼请国家有关管理部门, 尽快组织有关专家制定中国的“水蒸汽密度表”标准, 以适应中国强化能源计量管理的形势, 推动和提高中国蒸汽计量的水平。

上述两大难题严重地制约着中国蒸汽计量水平(当然也影响到进口的蒸汽计量器具的型式批准工作)。各企业产品成本计算中对“蒸汽量”仍是按“摊派量”计算的为多。为此再次呼吁国家有关部门尽快组织有关单位和专家, 积极投资, 投入人力和物力早日攻克“蒸汽计量”中的两大难题。

参考文献:

- 1 孙淮清, 王建中编著. 流量测量节流装置设计手册. 第二版. 北京: 化学工业出版社, 38~40
- 2 程贺编著. 流量测量及补偿技术. 北京: 化学工业出版社, 89~92
- 3 郑灿亭. 介绍一种蒸汽流量计的标定方法. 炼油化工自动化. 1983, (4): 45~48
- 4 郑灿亭. 浅议以压缩空气代替蒸汽进行蒸汽流量计的检定. 炼油化工自动化. 1996, (1): 63~66

艾默生进一步扩大高准(Micro Motion®)科里奥利产品范围, 提供适用于苛刻环境的哈氏合金 F 系列产品

针对腐蚀介质和元素应用场合, 哈氏合金 C-22 高准 F 系列流量计是理想选择

艾默生过程管理公司推出了哈氏合金 C-22 结构的 F 系列产品, 由此扩大了高准科里奥利流量计的产品范围。这使得该流量计适于工艺介质与不锈钢材质不相容的众多工业和应用环境中。紧凑和自排空型 F 系列哈氏合金产品是在苛刻操作环境中进行精确、可靠流量测量的理想选择。

哈氏合金制成的高准 F 系列产品适于在含有腐蚀介质、氯、氯化物以及含腐蚀元素的原油等环境中使用。为了帮助客户选择与不同介质相容的正确科氏仪表, 高准提供免费且内容广泛的腐蚀物质指南, 该指南可从 www.MicroMotion.com 网站的“文件”部分中下载。

与所有高准 F 系列产品一样, 哈氏合金产品具有其他紧凑型科氏仪表无可比拟的测量精度, 高准 F 系列仪表的质量流量测量精度为 ±0.10%, 体积流量测量精度为 ±0.15%, 气体流量测量精度为 ±0.50%, 密度测量精度为 ±0.001 g/cc。F 系列产品为自排空型并减少了测量偏差, 因此提供了优良的固有灵敏度。

新型 F 系列仪表具有哈氏合金 C-22 流量管结构, 使客户可以将具有最佳性能的紧凑和自排空型科氏仪表应用到以前不可能的应用中。高准提供的专门技术以及应用知识确保了工艺过程快速顺利进行, 提高了设备效率, 降低了运行成本。

高准 F 系列合金科氏仪表是艾默生提供的多种智能、数字现场仪表的一部分, 这些仪表使 PlantWeb® 数字设备结构更强大, 并且通过资产最优化、过程自动化以及有效管理可使工厂效率提高了 2% 以上。当流量计与 PlantWeb 结构整合时, 更能节省成本, 增加工厂有效性并增强安全性和环境协调性。

