

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2016.S1.009

# 热电厂供热流量仪表的设计

裴顺, 王晓雄

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

**摘要:** 在热电厂的生产过程中, 供热结算用的流量测量精度要求高, 且流量变化范围很大, 一般的流量测量方案无法满足精确测量要求。为解决热电厂供热流量的精确测量的需求, 介绍了多种常用流量测量方案, 并针对火电厂的常见工况提出供热流量的精确测量方案及造价分析, 测量方案已经应用实际工程中的多种工况, 使用效果令人满意, 可在热电厂中的相似工况中推广使用。

**关键词:** 供热流量计; 大量程比; 平衡流量计; 双变送器测量方案; 多测量管道方案

中图分类号: TM611

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2016)S1-0035-04

## Design of Heating Media Flow Measurement for Thermal Power Plant

PEI Shun, WANG Xiaoxiong

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

**Abstract:** In the production process of thermal power plant, measurement precision requirement of heating media flow measurement for charge is high, and the heating media flow range is very large. General flow measurement scheme could not meet the requirements of precise measurement for such heating media flow. To solve this problem, this paper introduced several common flow measurement schemes, and proposed precise heating media flow measurement schemes and cost for several common conditions. Those schemes have been applied for several engineering. Effect of this proposes is satisfied. Those schemes can be used widely in thermal power plants for similar applications.

**Key words:** heating media flow measure; large measurement range ratio; balanced flow meter; dual-transmitter measure scheme; multi-measure pipe flow measurement scheme

在热电厂的生产过程中, 供热介质(例如蒸汽和热水)结算用流量的测量精度要求很高(要求误差小于 $\pm 0.5\%$ ); 而且由于热负荷不稳定, 供热介质的流量变化范围很大。一般情况下, 供热介质的最大流量与最小流量的比值可达几十比一, 甚至高达400:1。

但是, 常用流量计的量程比(量程比: 满足精度要求的前提下, 所能测量的最大值与最小值的比)通常低于10:1, 无法实现供热介质流量的全计量范围的精确测量, 尤其是小流量区域的精确测量。因此, 大量程比的供热介质流量测量方案的研究

究就十分必要。

## 1 现有测量方案

当前, 蒸汽和热水的常用流量方案有差压式流量计和涡街流量计两种测量方案。

### 1.1 差压式流量计

以节流装置作为检测件的差压式流量计是历史悠久、理论和时间资料丰富、用量最大的一类流量计。节流装置配合差压变送器可用来对液体、蒸汽和气体的流量进行测量和控制。差压式流量计具有技术成熟、适用范围广, 安装维护简便、重复性好、使用寿命长等特点。

#### 1.1.1 节流装置

节流装置形式和种类繁多, 本文仅介绍火电厂中常用的三类节流装置: 标准节流装置、均速管流

收稿日期: 2016-10-13

作者简介: 裴顺(1978), 男, 安徽宣城人, 高级工程师, 硕士, 主要从事电站仪控设计与研究工作(e-mail) peishun@gedi.com.cn。

量计和平衡流量计。

**标准节流装置：**标准节流装置是按照国际标准 ISO5167、中国标准 GB/T—2624 的技术规范书进行设计、制造和使用的节流装置。标准节流装置有标准孔板、标准喷嘴和标准文丘利管。标准孔板是最常用的节流件，标准喷嘴和标准文丘利管的原理、特性与标准孔板相似；因此，本文中以标准孔板为例讨论标准节流装置。

**均速管流量计：**均速管流量计是基于皮托管测速原理发展而来的一种新型差压流量测量装置，具有永久压缩小的特点。

**平衡流量计：**平衡流量计是一个多孔的圆盘节流整流器，每个孔的尺寸和分布是基于特殊的公式和测试数据而制定，称为函数孔。当流体穿过圆盘的函数孔时，流体被平衡整流，涡流被最小化，形成近似理想流体，通过取压装置，可获得稳定的差压信号。

### 1.1.2 节流装置特性对比

标准节流装置、均速管流量计和平衡流量计的主要性能对比如表 1 所示。

表 1 常用节流装置的主要性能对比表

Tab. 1 Performance of common throttling device

节流装置	标准孔板	均速管流量计	平衡流量计
工作压力/MPa	≤40	≤40	≤42
工作温度/℃	≤700	≤700	≤850
精度/%	0.5~1.5	1.0	0.3~0.5
量程比	3:1	10:1	30:1
管道尺寸	DN50~DN3 000	DN40~DN9 000	DN15~DN3 000
压力损失/%	50~70	10~20	10~30
雷诺数	5 000 ≤ Re ≤ 10 <sup>7</sup>	80 000 ≤ Re ≤ 10 <sup>7</sup>	200 ≤ Re ≤ 10 <sup>7</sup>
其它	—	对介质流速： 气体 ≥ 4.5 m/s， 液体 ≥ 0.6 m/s， 蒸汽 ≥ 9.7 m/s	—

从常用节流装置的主要性能对比表中可以得出以下结论：

1) 精度：平衡流量计最优，标准孔板(标定)次之，均速管流量计最差。

2) 压力损失：均速管流量计最优，平衡流量计次之，标准孔板最差。

3) 量程比：平衡流量计最优；均速管流量计的理论量程比可达到 10:1，但是均速管流量计的适用雷诺数范围较小且对流速有要求，均速管流量计

在小流速工况的应用效果不佳，实际量程比接近标准孔板的量程比 3:1。

基于以上结论，三种常用节流装置中平衡流量计的性能较为优越，对大量程比流量测量方案更为有利。因此，本专题后续讨论中以平衡流量计为例讨论大量程流量测量方案。

### 1.1.3 差压变送器

差压式流量计由节流装置和差压变送器共同组成，其特性也由两者共同决定。表 2 给出了当前主流变送器品牌的常用差压变送器型号主要性能参数。

表 2 常用差压变送器主要性能参数表

Tab. 2 Performance of common differential pressure transmitter

厂家	EJA	罗斯蒙特	霍尼韦尔	西门子
系列	EJA110A	3 051	ST3 000	DSIII
精度/%	0.015	0.025	0.065	0.075
量程比	50:1	100:1	200:1	100:1

由表 2 可以得出，常用差压变送器的量程比为 100:1。而根据流量计算公式：

$$Q = k \sqrt{\frac{\nabla p}{\rho}} \quad (1)$$

式中： $Q$  为体积流量； $\nabla p$  为差压； $\rho$  为流体密度。可以得出：流量与差压是平方根关系。因此可以得出差压变送器用于流量测量时量程比为 10:1。

但是，差压式流量计设计时，节流装置的刻度流量为介质最大流量的 1.1 倍以上；节流装置的刻度流量对应的差压值也小于差压变送器自身最大量程，因此差压式变送器用于流量测量时，实际的有效量程比一般在 7:1~9:1。

因此，当节流件采用标准节流装置或均速管流量计时，整套差压流量计的最大量程受节流件的限制，最大量程比为 3:1。当节流件采用平衡流量计时，整套差压流量计的最大量程受差压变送器的限制，最大量程比为 7:1~9:1。

### 1.1.4 双变送器测量方案

由于差压变送器量程比的限制，平衡流量计大量程比(10:1 甚至 30:1)的优势无法充分体现。为突破差压变送器对整套差压流量计量程比的限制，一些项目采用了双变送器的测量方案，具体原理图具体见图 1。

双变送器测量方案：一套平衡流量计的同时配

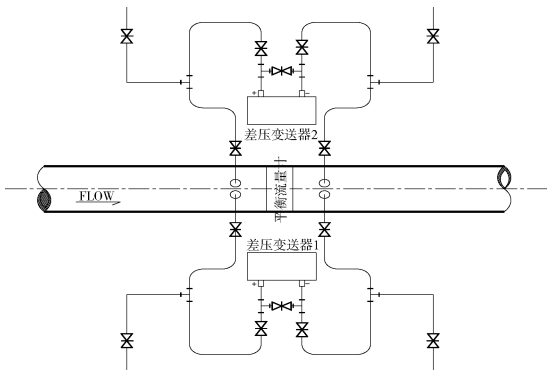


图 1 双变送器测量方案原理图

Fig. 1 Schematic diagram of dual differential pressure transmitter flow measurement scheme

两套差压变送器, 其中差压变送器 1 的差压测量范围覆盖整个平衡流量计刻度流量对应的的差压值范围, 差压变送器 2 的差压测量范围覆盖平衡流量计 0~60% 刻度流量范围。为避免差压变送器 2 超量程, 可以在差压变送器 2 一次门后加装电磁阀。

两套差压变送器测量值同时送入流量计算装置 (如: DCS, PLC 或者就地控制器)。当差压变送器 1 的流量计算值大于 60% 时, 使用差压变送器 1 计算流量; 当差压变送器 1 的流量计算值小于 60%, 使用差压变送器 2 计算流量。平衡流量计的流量计算公式按照 0~60% 和 60%~100% 两个流量区间分别修正。

双变送器测量方案可以克服差压变送器的有效量程比的限制; 配合宽量程比的平衡流量计, 可以实现量程比为 30:1 的宽量程比的流量精确测量。

### 1.2 涡街流量计

涡街流量计是根据“卡门涡街”原理制造的一种速度式流量仪表, 是目前国际主要的流量测量仪表之一。适用于液体、气体和蒸汽的流量计量。涡街流量计的主要技术参数如表 3 所示:

表 3 涡街流量计的主要技术参数表

Tab. 3 Main parameters of vortex flowmeter

参数	数值
精度/%	1.0
工作压力/MPa	≤4
工作温度/℃	≤350
量程比	10:1
介质	蒸汽, 水, 气体
管道尺寸	DN15~DN400
介质流速/(m·s <sup>-1</sup> )	液体 0.8~7; 气体 5~50; 蒸汽 4~60

涡街流量计不需要额外的变送器, 因此具有安装简单和大量程比的特点; 但是涡街流量计的适用温度和压力范围较小, 应用场合较少。

### 1.3 推荐方案

根据上文对差压式流量计和涡街流量计的综合分析, 本文给出不同量程比情况下的推荐流量测量方案, 具体见表 4。

表 4 不同量程比下的推荐测量方案

Tab. 4 Recommended flow measurement scheme

量程比	推荐方案
小于 3:1	标准节流件 + 单差压变送器 均速管流量计 + 单差压变送器
大于 3:1	平衡流量计 + 单差压变送器
小于 7:1	涡街流量计 (低温低压工况下, DN500 以下标准管道)
大于 7:1	平衡流量计 + 单差压变送器
小于 10:1	涡街流量计 (低温低压工况下, DN500 以下标准管道)
大于 10:1	平衡流量计 + 双变送器
小于 30:1	平衡流量计 + 双变送器

## 2 多测量管道方案

通过对差压式流量计和涡街流量计的分析, 可以看出采用单个流量变送器时, 流量计的量程比最大不超过 30:1。而在热电厂生产过程中, 部分工况下供热介质流量的量程比可能高达 100:1 甚至更高。对于这类应用场合, 常规单套的流量测量装置无法满足流量精确测量的要求。

### 2.1 多测量管道方案

针对高量程比的应用场合, 本文提出多测量管道方案。本章节以两测量管道方案为例说明方案测量原理, 具体原理图详见图 2。

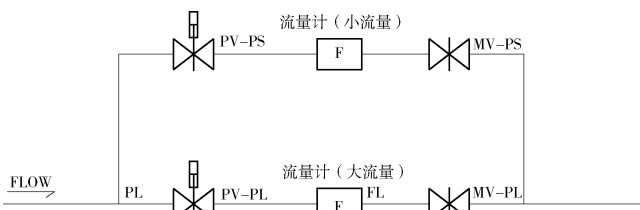


图 2 双测量管道方案原理图

Fig. 2 Schematic diagram of dual measure pipe flow measurement scheme

本方案采用两段截面积不一样的流量测量管道, 分别为大流量管道 (PL) 和小流量管道 (PS)。每段测量管道上相应配一个流量计用于流量测量, 分别为大流量流量计 (FL) 和小流量流量计 (FS)。

两测量管道方案对于流量计的具体方案没有要求。

每段测量管道上游均设有一个远控阀门(可以是电动阀、气动阀,本文以气动阀为例),分别为MV-PL和MV-PS。下游设有一个手动阀(正常工作时,处于全开状态),分别为HV-PL和HV-PS。正常流量测量时,仅有一段流量测量管路上的电动阀处于全开状态,另一个管路上的电动阀处于全关状态。测量过程如下:

当大流量测量管道PL处于测量状态时,即阀门MV-PL全开,大流量流量计(FL)处于工作状态。如大流量流量计(FL)的测量值大于FLmin时,以大流量流量计(FL)的测量值为准;如大流量流量计(FL)的测量值小于FLmin时,控制打开阀门MV-PS投入小流量测量管道PS和小流量流量计(FS),待MV-PS全开后关闭MV-PL阀门。

当小流量测量管道PS处于测量状态时,即阀门MV-PS全开,小流量流量计(FS)处于工作状态。如小流量流量计(FS)的测量值小于FSmin,以小流量流量计(FS)的测量值为准;如小流量流量计(FS)的测量值大于FSmax时,控制打开阀门MV-PL投入测量管道PL和大流量流量计(FL),待MV-PL全开后关闭MV-PS阀门。

测量管路切换过程中,保持上一个有效测量值。为减短测量管路切换时间,选择执行机构全行程动作时间尽量短(气动阀动作时间小于10 S)。热电厂生产中,热负荷变化较为均匀,切换过程对测量影响不大。

通过工程实践证明,通过合理设计两段测量管路和选用流量计方案,可以实现的大量程比流量的测量。当两套流量计采用平衡流量计+单差压变送器方案,本方案可以实现量程比为60:1的流量测量。

如需工况确实需要更大量程比,可采用量程比更大的流量计;例如:小流量流量计可以采用平衡流量计+双变送器方案,即可以实现量程比为200:1的流量测量。当然采用三测量管道方案能实现更大量程比流量的精确测量,但是系统复杂度和控制难度将大幅度提升。

## 2.2 实际工程案例分

某工程提供近期的供热需求方案。具体数据见表5。

表5 某工程热负荷表

Tab. 5 Heating loads list

序号	用户	压力/ MPa	温度/ ℃	最大热 负荷/ (t·h <sup>-1</sup> )	正常 热负荷/ (t·h <sup>-1</sup> )	最小 热负荷/ (t·h <sup>-1</sup> )	量程比
1	A	3.50	435	16	13.1	10	1.60:1
2	B	3.50	365	36	35	33	1.09:1
		3.82	450	30	25	25/0	1.20:1
3	C	3.82	450	27.28	23.84	23.84/0	1.10:1
		3.82	450	27.28	23.84	23.84/0	1.10:1
4	D	3.50	400	200	200	1	200:1
汇总	—	—	—	309.28	296.94	44	7.03:1

根据表5可知,用户A,用户B和用户C计量用的蒸汽流量计所需的量程比均小于3:1,采用标准节流件/均速管流量计+单差压变送器的方案即可满足要求,预计每套流量计设备价格为2万元;供热蒸汽母管计量用的蒸汽流量计所需的量程比达到7.03:1,需要采用平衡流量计+单差压变送器的测量方案,预计流量计设备价格为11万元。

用户D计量用的蒸汽流量计所需的量程比达到200:1,需要采用两段测量管路方案:其中大流量测量管道流量计采用平衡流量计+单差压变送器,小流量测量管道流量计采用平衡流量计+双变送器。具体配置如表6。

表6 用户D测量方案

Table. 6 Flow measure scheme for user D

测量管道	节流件	变送器	流量范围/ (t·h <sup>-1</sup> )	量程比
大流量测量管道	平衡流量计1	差压变送器1	25~200	
小流量测量管道	平衡流量计2	差压变送器2	5~25	200:1
		差压变送器3	0~5	

用户4蒸汽流量测量方案的所需设备和材料价格估计如表7所示。

表7 用户D蒸汽流量测量方案设备材料价格

Tab. 7 Cost of flow measure scheme for user D

设备名称	数量/套	价格/万元
大口径平衡流量计	1	10
小口径平衡流量计	1	5
差压变送器	3	2
大口径闸阀(气动)	1	13
大口径闸阀(手动)	1	10
小口径闸阀(气动)	1	3
小口径闸阀(手动)	12	2
安装材料	1	5
合计	21	50

高浓度区。

#### 4.2 区域环境的敏感性

研究区域内有广东石门台国家自然保护区和英德滑水山市级自然保护区。如此地理位置,使电厂厂址处在一个较为敏感的环境当中,大气污染物排放面临着超越生态红线。

#### 4.3 环境影响的约束性

电厂在采取了低于燃机排放标准的排放措施后(排放浓度  $\text{SO}_2$  为  $15 \text{ mg/m}^3$ ,  $\text{NO}_x$  为  $25 \text{ mg/m}^3$ , 烟尘为  $3 \text{ mg/m}^3$ ),大气污染物排放对自然保护区的影响仍然严重,小时浓度  $\text{SO}_2$  超过标准 2.3 倍,  $\text{NO}_2$  超过标准 2.8 倍。要使工程烟塔排放的环境影响满足其环境功能要求,  $\text{SO}_2$  和  $\text{NO}_x$  的排放水平需控制在  $4 \text{ mg/m}^3$  以下,采取进一步的治理措施将面临治理措施的技术瓶颈和付出更大的经济代价,其一,目前国内外尚无成熟的相关治理技术;其二,类似技术在投资和运行维护上将付诸更大的经济投入(具体投入情况需进一步研究)。

(上接第 38 页 Continued from Page 38)

通过表 6 和表 7,可以得出两段测量管路方案可以获得所需量程比流量(200:1)的精确测量,但是测量方案价格增加明显。

### 3 结论

通过工程实践证明,通过合理设计多段测量管路和选用流量计方案,可以实现的大量程比流量的测量。但是,大量程比的流量精确测量意味着更多设备和仪表,也需要更高的一次投资成本和后续维护成本。因此建议各发电厂可仔细核实外部实际热负荷需求,确定准确的、合适的量程范围,进而相应确定精确的和经济的流量测量方案。

#### 参考文献:

- [1] 周人. 大量程比的流量测量方案 [J]. 石油化工自动化, 2011(3): 55-57.  
ZHOU R. Flow measurement solutions of large range ratio [J]. Petrochemical Automation, 2011(3): 55-57.
- [2] 李砚清, 俞京. 大量程比节流式微机流量计 [J]. 自动化仪表, 1992(8): 40-44.  
LI Y Q, YU J. Large range ratio flowmeter [J]. Automation Instrument, 1992(8): 40-44.
- [3] 周人. A+K 平衡流量计的独特性能和典型应用 [J]. 化工

### 5 结论

A 电厂是广东地区首次尝试烟塔合一排烟方案的研究,从结果上看是一次积极的尝试,首先用 (*Froude* 数)的判定方法,证明了华南地区本工程烟塔设计(外形和排放参数)在工程上是可行的。由于地理环境的制约局部地区存在污染物超标的情况。其次表明多山、盆地、丘陵地区不适宜烟塔合一项目的实施。因此建议烟塔合一技术在平原地区电厂项目中具有较高的推广价值。

#### 参考文献:

- [1] 马忠强, 汪林, 朱京海, 等.  $2 \times 300 \text{ MW}$  机组烟塔合一方案大气环境影响分析 [J]. 环境科学研究, 2012, 25(12): 1416-1421.  
MA Z Q, WANG L, ZHU J H, et al. Analysis of the atmospheric environmental impact of a stack-cooling tower project for a  $2 \times 300 \text{ MW}$  generating unit [J]. Research of Environmental Sciences, 2012, 25(2): 1416-1421.

(责任编辑 张春文)

与医药工程, 2011, 32(3): 54-57.

ZHOU R. Unique performance and typical application of A+K balanced flow meter [J]. Chemical Engineering and Pharmaceutical Engineering, 2011, 32(3): 54-57.

- [4] 廖审析, 王华忠. 文丘利管与 A+K 平衡流量计的应用比较 [J]. 化工与医药工程, 2011, 32(2): 48-51.

LIAO S X, WANG H Z. Comparison of venturi flow meter and A+K balanced flow meter [J]. Chemical Engineering and Pharmaceutical Engineering, 2011, 32(2): 48-51.

- [5] 李康康, 贾玉明, 葛素楠. 多孔孔板节流装置的应用 [J]. 石油化工自动化, 2010, 46(4): 60-63.

LI K K, JIA Y M, GE S N. Application of porous throttling device [J]. Petrochemical Automation, 2010, 46(4): 60-63.

- [6] 曾长春. 应用 DCS 开发蒸汽计量管理信息系统 [J]. 自动化与仪器仪表, 1996(5): 38-42.

ZENG C C. Design of steam measure device using DCS system [J]. Automation and Instrument, 1996(5): 38-42.

- [7] 黄琼, 赵康. 差压式流量计范围度的扩展与作用 [J]. 化工与医药工程, 2013, 34(4): 58-61.

HUANG Q, ZHAO K. Expansion of differential pressure flowmeter scope [J]. Chemical Engineering and Pharmaceutical Engineering, 2013, 34(4): 58-61.

- [8] 裴顺. 湿法脱硫系统常用仪表选型 [J]. 工业仪表与自动化装置, 2009(6): 21-24.

PEI S. Instrument selection for FGD system [J]. Industrial Instrumentation and Automation Equipment, 2013, 2009(6): 21-24.

(责任编辑 郑文棠)