

锅炉节能仪表的原理、 使用与维修

杨振顺 编



人民交通出版社

锅炉节能仪表的原理、

Guolu Jieneng Yibiao de Yuanli

使用与维修

Shiyong yu Weixiu

杨振顺 编

人民交通出版社

锅炉节能仪表的原理、

使用与维修

杨振顺 编

人民交通出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本: 850×1168 $\frac{1}{32}$ 印张: 9.625 插页: 1 字数: 235千

1988年2月 第1版

1988年2月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—9,700 册 定价: 2.30元

内 容 提 要

本书简要介绍了热工监测、计量仪表在工业锅炉中的节能作用，较详细地叙述了工业锅炉中常用的流量仪表、压力仪表、温度仪表、锅筒水位表、煤耗表、显示仪表以及锅炉烟气和水质分析仪表的原理、安装使用与维修知识。

本书可作为锅炉热工仪表维修人员的学习教材，也可供从事热工和能源测试以及有关工作的工程技术人员阅读。

前 言

节能仪表是能为节约能源起一定作用的仪表。在工业锅炉中，节能仪表包括热工计量仪表和热工监测仪表两类。

为工业锅炉配备热工计量和热工监测仪表是近年来刚开展的一项工作。长期以来，小型工业锅炉不但没有计量仪表，而且连监测仪表也极不完善，这种现象的本身就说明了能源浪费的严重性。

我国大约有三十万台工业锅炉，每年的煤耗量占全国总煤耗量的三分之一，因此，工业锅炉的节能具有很大潜力。为工业锅炉配备热工计量、监测仪表是节能的一项重要措施，对于节约能源有着深远意义。

近两年来，作者在为工业锅炉配备节能仪表的过程中发现仪表操作和维修人员很少。他们之中的大部分人对仪表的原理及维护知识也不太了解。为了使锅炉仪表的维修人员和使用人员有一本完整实用的学习教材，同时又能满足从事这方面工作的工程技术人员需要，使仪表在工业锅炉中真正起到节能作用，作者编写了这本书。

本书围绕工业锅炉所使用的仪表，采用通俗易懂的文字，较详细地介绍了它们的工作原理、安装、使用和维修知识。

本书在编写过程中，曾得到兄弟单位的同行的支持，得到人民交通出版社编辑同志的帮助和协作，编写完后又请清华大学自动化系王家桢副教授审阅了本书的全文，并提出了许多宝贵意见，在此向他们表示最诚挚的谢意。

由于本书涉及的专业知识多，内容广泛，加上编者从事这项工作的时间短，水平有限，因此在编写中一定存在许多缺点和错误，希望读者批评指正。

目 录

第一章 热工监测、计量仪表在工业锅炉中的节能作用.....	1
第二章 流量测量仪表.....	4
第一节 工业锅炉中的流量测量及常用的流量仪表.....	4
第二节 差压式流量计的基础知识.....	6
第三节 带压力补偿的差压式流量计.....	29
第四节 分流旋翼式蒸汽流量计.....	58
第五节 阿牛巴-浮子式蒸汽流量计.....	67
第六节 涡轮流量计.....	73
第七节 汽-液两相流量测量及智能化流量仪表.....	81
第三章 热量计量仪表.....	97
第一节 用于热水锅炉的热水热量指示积算仪.....	97
第二节 用于蒸汽锅炉的蒸汽热量指示积算仪.....	105
第四章 压力测量仪表.....	112
第一节 工业锅炉中的压力测量及常用的压力表.....	112
第二节 弹簧管压力表.....	113
第三节 远传式压力变送器.....	118
第四节 液柱式压力计和膜盒式压力计.....	123
第五章 温度测量仪表.....	130
第一节 工业锅炉中的温度测量及常用的测温仪表.....	130
第二节 热电阻温度计.....	131
第三节 热电偶温度计.....	137
第四节 液体膨胀式温度计.....	143
第五节 辐射式高温计.....	146
第六章 锅炉水位仪表.....	154
第一节 玻璃水位计.....	154

第二节	差压式液位计	155
第三节	电接点水位报警仪	162
第七章	锅炉分析仪表	166
第一节	极谱式测氧仪	166
第二节	氧化锆定温式氧量分析仪	175
第三节	工业电导仪	182
第八章	锅炉煤耗测量仪表	193
第一节	链条式煤耗仪表	193
第二节	电子皮带秤	206
第九章	动圈型显示仪表	225
第一节	动圈仪表的工作原理与结构	225
第二节	动圈型显示仪表的测量线路	228
第三节	动圈仪表的使用与维修	232
第十章	自动平衡显示仪表	243
第一节	自动平衡显示仪表的工作原理	243
第二节	自动平衡式显示仪表的结构	245
第三节	自动平衡式显示仪表的测量线路	247
第四节	JF型晶体管放大器	252
第五节	自动平衡显示仪表的安装、使用与维护	257
第六节	自动平衡显示仪表的维修	259
第七节	自动平衡显示仪表的校验	265
附录一	压力单位换算表	270
附录二	国内各地区大气压力参考表	271
附录三	体积流量、质量流量换算表	273
附录四	饱和水与饱和水蒸汽表(依温度排列)	274
附录五	饱和水与饱和水蒸汽表(依压力排列)	276
附录六	铂热电阻分度表($R_0 = 100\Omega$)	280
附录七	铂热电阻分度表($R_0 = 46\Omega$)	283
附录八	铜热电阻分度表($R_0 = 50\Omega$)	286
附录九	铜热电阻分度表($R_0 = 100\Omega$)	287

附录十 铂铑 10-铂热电偶分度表288

附录十一 镍铬-镍硅（镍铬-镍铝）热电偶分度表294

第一章 热工监测、计量仪表在工业 锅炉中的节能作用

工业锅炉是为工业和民用提供热能的主要设备，它以水为介质，通过燃料燃烧，产生蒸汽或热水。一台锅炉热效率的高低，是否节约燃料，不仅与锅炉的结构和进入锅炉的水质有关，而且还与锅炉是否有完备的监测、计量仪表有关。

监测仪表是锅炉运行的耳目，它监视锅炉水位的高低、蒸汽压力的大小、锅炉水质及燃烧工况的好坏。这些仪表不仅保证锅炉的安全运行，而且能提高锅炉热效率，起到节约燃料的作用。下面仅就对锅炉水质和锅炉燃烧工况的监测，介绍仪表在锅炉运行中的节能作用。

监测锅炉水质可采用工业电导仪。进入锅炉的水质经过强酸树脂、软水剂处理后，水溶液的平均电导率与 NaCl 水溶液的电导率十分接近，所以通常以水中的含盐量表示。工业电导仪对炉水含盐量的监测，使合格的水质进入锅炉。锅炉水质处理的好坏对锅炉效率影响很大，如果水质处理不好，不但使锅炉结垢，影响传热，而且使锅炉排污热损失增大。

监测锅炉水质对提高锅炉热效率的作用表现在两个方面：
(1) 防止锅炉结垢。炉水中溶解的盐类主要是钠、钙、镁等重碳酸盐、氧化物和硫酸盐，钙、镁等盐类会在锅炉受热面上结垢，由此导致热阻增加，影响传热，降低锅炉热效率，增加燃料消耗。水垢的导热系数为 $4.6 \sim 11.3 \text{ kJ/m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$ ，经测定，锅炉受热面上结 1 mm 水垢，燃料消耗要增加 $2 \sim 3 \%$ ，结垢 2 mm ，燃料消耗就要多增加 $5 \sim 6 \%$ 。(2) 减少锅炉排污热损失。如果不监测锅炉水质，让不合格的水质进入锅炉，就会使排污量加大，锅

炉热损失增大。监测控制锅炉水质，可减少不必要的排污热损失。

监测锅炉燃烧工况可采用烟气测氧仪和炉膛压力表，烟气测氧仪的作用可使燃料进给量与鼓风量得到合理匹配，炉膛压力表的作用可使鼓风与引风得到合理匹配。炉膛燃烧工况的好坏对锅炉热效率影响极大，锅炉热效率亦是锅炉有效利用热能的程度，它与锅炉热损失之间有如下关系：

$$\eta = 100 \times \frac{q_1}{(q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6)} \% \quad (1-1)$$

式中： η ——锅炉热效率；

q_1 ——锅炉有效利用热；

q_2 ——排烟热损失；

q_3 ——化学不完全燃烧热损失；

q_4 ——机械不完全燃烧热损失；

q_5 ——锅炉炉体表面热损失；

q_6 ——灰渣物理热损失。

式(1-1)中， q_2 和 q_4 是两项主要热损失，与燃料和空气的配合比例有关。从燃烧角度看，过剩空气系数(α)反映燃料与空气的配合情况，过剩空气系数过大，表明风太多，燃料太少，使烟气体量增大， q_2 增大，同时使炉内温度过低，燃烧恶化；过剩空气系数过小，不能使燃料完全燃烧，使 q_3 、 q_4 增大。因此，过剩空气系数有一个最经济的数值，这一数值使 $q_2 + q_3 + q_4$ 损失最小。

测量烟气含氧量(O_2)可以确定烟气的过剩空气系数，烟气含氧量与过剩空气系数有如表1-1的关系。

烟气含氧量(O_2)与过剩空气系数(α)的关系 表1-1

$O_2\%$	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
α	1.24	1.31	1.40	1.50	1.62	1.75	1.91	2.10	2.33	2.63	3.00

利用测氧仪监测烟气的含氧量，并以此为依据，调节燃料进

给量和鼓风量的比例，使锅炉合理燃烧。对于燃烧系统调节得好的链条炉，烟气含氧量一般在8%左右，煤粉炉在4%左右，燃油炉在2~8%。锅炉实际运行中，烟气含氧量往往高于上述数值，因此需要根据实际情况，找到一个最经济的烟气含氧数值，使 $q_2 + q_3 + q_4$ 最小。根据有关资料报导，某单位一台20t/h锅炉使用烟气成分监测仪后，平均每天节约用煤3~5%，经过一年后的初步统计，节约用煤1000t。

除上述的监测仪表外，计量仪表在能源管理中也具有显著的节能作用。1986年国务院发布的《节约能源管理条例》中强调要配备能源计量器具，加强能源计量管理，并要求对产品能耗进行考核，把能源消耗定额落实到车间、班组。

对能源实行计量管理，不配备计量仪表是不行的。通过计量仪表管理能源，可以减少能源浪费。计量仪表的作用主要表现在两方面：（1）加强了对工业锅炉的运行管理。通过煤耗表、蒸汽流量表和蒸汽压力表所测量并记录的数值可大致了解锅炉热效率，这就为各班组司炉人员的工作评比提供了依据，从而调动工人劳动积极性。目前普遍存在的一个问题是锅炉运行管理问题，锅炉配备计量仪表是加强锅炉管理的重要措施。（2）落实能耗定额管理。热能利用是一门科学，没有计量仪表就无法制定合理的定额标准，也就不可能定时对能耗进行考核。经验表明，利用计量仪表加强能源管理可以节约大量能源，如哈尔滨市某单位利用热水热量积算仪计量热水供应量，实行定量供应，结果一个冬季供暖期就取得了节煤6%的效果。

第二章 流量测量仪表

第一节 工业锅炉中的流量测量及常用的流量仪表

工业锅炉中的流量测量主要有以下三方面：

1. 锅炉蒸汽或热水流量；
2. 锅炉给水流量；
3. 锅炉烟气流量。

锅炉给水流量与蒸汽流量之间有一定关系，进入锅炉的水量等于锅炉的蒸发量和排污量，锅炉的排污量和排污次数取决于锅炉的水质，没有固定规律，因此锅炉给水量并不能代表其蒸发量。

测量锅炉给水流量可采用多种类型的流量仪表，小型工业锅炉的给水管道管径一般小于50mm，通常采用涡轮流量计。涡轮流量计的测量精度高，可同时指示瞬时流量和显示累计流量，但价格较贵。当给水管道管径在50mm以上时，一般采用差压式流量计。

锅炉蒸汽流量又称锅炉出力，是锅炉运行的一个重要参数。测量蒸汽流量一般采用差压式流量计，这种流量计的历史悠久，它的节流装置具有结构简单、性能可靠、使用寿命长、耐高温高压、适应性广等一系列优点。近20年来，特别是70年代以来，我国已定型生产了许多类型的差压式流量计，如双波纹管式差压流量计、膜盒式差压流量计、气动单元组合式差压流量计、电动单元组合式差压流量计等。而在各种类型中又派生出许多不同系列的差压式流量计，如在电动单元组合式仪表中又有DDZ-II型仪

表和 DDZ-III 型仪表。上述这些差压式流量计在以往的锅炉中有所采用，但应该看到，它们并不适于测量蒸汽锅炉的蒸汽流量。其原因是锅炉实际运行工况往往与节流装置的设计工况不一致，使蒸汽流量测量带有很大误差，如设计节流装置时给定蒸汽压力是 $8 \times 10^5 \text{Pa}$ ，但根据生产用汽需要，夏季锅炉蒸汽为 $5 \times 10^5 \text{Pa}$ ，冬季才将蒸汽压力提高到 $8 \times 10^5 \text{Pa}$ 。夏季蒸汽压力低于节流装置设计时的蒸汽压力就会产生测量误差。根据差压式质量流量的计算公式：

$$m = \alpha \varepsilon A \sqrt{2 \rho'_1 \Delta P} \quad (2-1)$$

式中： m ——工作状态下的质量流量 (kg/h)；

α ——流量系数；

ε ——流束膨胀系数；

A ——节流件开孔截面积 (mm^2)；

ρ'_1 ——工作状态下的蒸汽密度 (kg/m^3)；

ΔP ——节流件前后差压 (Pa)。

节流件计算好后，式(2-1)中的 α 、 ε 、 A 可认为是不变的常数，质量流量仅与孔板前后的差压和蒸汽密度有关。下面分析一下蒸汽压力改变时流量的测量误差。

饱和蒸汽压力为 $8 \times 10^5 \text{Pa}$ 时的密度：

$$\rho'_1 = 4.161 \text{kg/m}^3$$

饱和蒸汽压力为 $5 \times 10^5 \text{Pa}$ 时的密度：

$$\rho'_1 = 2.669 \text{kg/m}^3$$

压力改变时的质量流量相对误差：

$$\begin{aligned} \frac{\sigma_m}{m} &= \frac{m_{\rho'_1} - m_{\rho'_1}}{m_{\rho'_1}} = \frac{\sqrt{\rho'_1} - \sqrt{\rho'_1}}{\sqrt{\rho'_1}} \\ &= \frac{\sqrt{2.669} - \sqrt{4.161}}{\sqrt{4.161}} = -20\% \end{aligned}$$

上述计算表明，蒸汽压力从 $8 \times 10^5 \text{Pa}$ 降到 $5 \times 10^5 \text{Pa}$ 时，流量误差高达 -20% 。

为了减小蒸汽压力变化产生的附加测量误差，近几年来我国

又生产了具有压力补偿的差压式流量计，这种流量计需要测量差压和压力两个信号，并用压力信号对流量进行修正，从而大大提高了测量精度。

用于工业锅炉中的蒸汽流量表，除了带压力补偿的差压式流量计外，还有分流旋翼式蒸汽流量计和阿牛巴-浮子式蒸汽流量计，这两种仪表都带有压力补偿装置。

锅炉的烟气流量测量，一般采用便携式皮托管。在锅炉热平衡试验中需要测量烟气流量，以便计算烟道的排烟热损失。由于皮托管不属于现场测量仪表，因此本书不作介绍。

第二节 差压式流量计的基础知识

在管道上安装一个节流装置，当流体流过节流件时，流束收缩，流速加快。根据能量守恒定律，流体在节流件前后必然要产生差压，并且流体的流量与差压的平方成正比，根据这个原理测量流量的仪表称差压式流量计。

一、差压式流量计的组成

差压式流量计如图2-1所示，它由下列三部分组成：

1. 节流装置：它的作用是将被测流体的流量转换成差压信号。
2. 导压管路：它的作用是将节流装置的差压信号传送到差压变送器。
3. 差压计或差压变送器：前者直接测量差压并就地显示流量，后者将差压信号转换成统一的电（或气）信号，送往显示仪表远距离显示流量值。

节流装置由节流件和取压装置组成。节流件和取压装置的形式很多，一般最常用的节流件是标准孔板，取压装置多采用角接方式取压（见图2-2）。

导压管将差压信号由节流装置传输到差压变送器，导压管采用内径为 $\phi 8 \sim \phi 12$ 的无缝钢管，其长度最好限制在20m以内。导

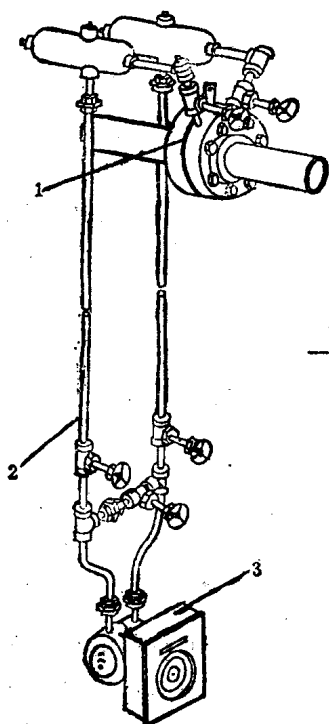


图2-1 差压式流量计的组成示意图
1-节流装置；2-导压管路；3-差压仪表

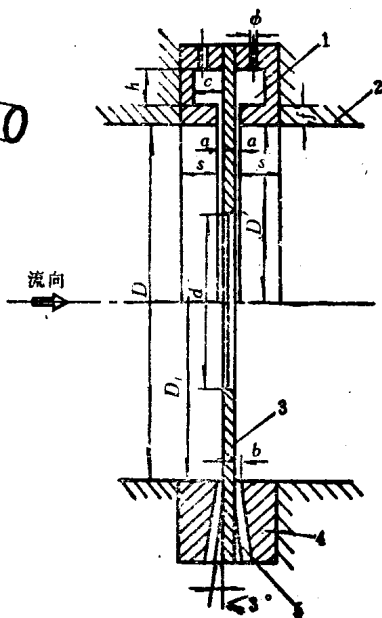


图2-2 角接取压示意图
1-环室；2-法兰；3-孔板；
4-夹紧环；5-单独钻孔

压管越长，其内径应越大。

在测量蒸汽流量时需要两个冷凝容器将蒸汽冷凝成水。两个冷凝容器必须保持水平，以便使正、负压的液柱高度稳定，不致带来附加测量误差。

在设计节流装置时还应考虑差压变送器的量程，以便使节流装置和差压变送器相匹配。

二、实用流量公式及有关参数

按照我国法定的计量单位，实用流量公式如下：

$$m = 0.003995 \alpha \varepsilon d^2 \sqrt{\rho_1 \Delta p} \quad (2-2)$$

$$Q = 0.003995 \alpha \varepsilon d^2 \sqrt{\Delta p / \rho_1} \quad (2-3)$$

式中: m ——工作状态下的质量流量(kg/h);
 Q ——工作状态下的体积流量(m^3/h);
 d ——工作状态下游流件开孔直径(mm);
 ρ_1 ——工作状态下游流体密度(kg/m^3);
 Δp ——节流件前后的差压(Pa)。

流量系数 α 是由实验确定的, 它与节流件形式、取压方式、雷诺数 R_e 和节流件直径比 β 有关, 在几何相似 (即 β 相同) 的节流装置中, 若 R_e 也相同时, 其 α 值是相同的。实验表明, 当 R_e 大到某一界限值时, α 基本不随 R_e 变化, 这时 α 可看成一个不变的常数。工业测量中, 由于流体管道有一定粗糙度, 流量系数应引入管道粗糙度系数 γ_R 加以修正。在测量可压缩性流体 (如蒸汽) 时, 计算流量需引入一个流束膨胀系数 ε 加以修正, ε 可由经验公式确定。

三、差压式流量计的安装

差压式流量计的安装包括节流装置、导压管路和差压计三部分。差压式流量计的测量精度约为 $\pm 2\%$, 如果安装不正确, 实际测量误差会大大超过 $\pm 2\%$, 因此必须按照规定进行正确安装。

(一) 标准节流装置的安装

节流装置的安装如图 2-3 所示。节流装置的安装应满足下列要求。

1. 节流件 2 的入口端面应与管道 10 的轴线垂直, 其偏差不超过 1° 。

2. 节流件 2 应与管道 10 同轴, 其不同轴度不得超过 $0.015D \left(\frac{1}{\beta} - 1 \right)$ 的数值 (D 为管道内径)。

3. 节流装置内环室 1、3 与法兰, 环室 1、3 与节流件 2 之间的密封垫片, 在夹紧后不得突入管道内壁。密封垫片的厚度一般为 $0.5 \sim 1 \text{ mm}$ 。

4. 为了正确确定工作温度下的 β 值, 应采用已知热膨胀系数

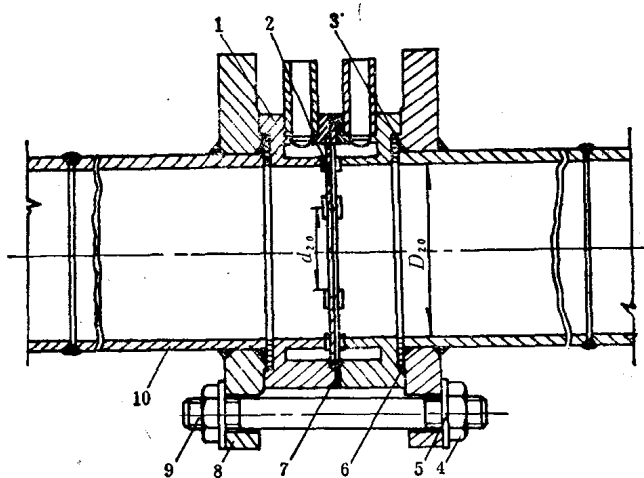


图2-3 节流装置安装图

1-前环室, 2-节流件, 3-后环室, 4-螺母, 5-垫圈, 6、7-垫片, 8-法兰, 9-双头螺栓, 10-短管

的材料制造测量管和节流件。若测量管材料和节流件材质不一致, 节流件的安装应保证夹紧后在受热情况下能自由膨胀, 以免变形。

5. 在节流件上游侧 $0D$ 、 $1D$ 、 $2D$ 取与管道轴线垂直的四个截面 (D 为管道内径), 每个截面上取大致相等角距的四个内径单测值, 共16个单测值, 求其平均值。任意单测值与平均值比较, 偏差不得大于 $\pm 0.3\%$ 。在节流件下游侧的 $0D$ 和 $2D$ 处, 亦应取8个单测值, 其偏差应在 $\pm 2\%$ 以内。

6. 节流装置各管段和管件的连接处不得有任何管径突变。

7. 节流件上、下游侧的最小直管段长度应符合 GB2624-81 《流量测量节流装置》要求。

(二) 导压管路的安装

导压管路应按下列规定敷设:

1. 导压管路应垂直或倾斜敷设, 其倾斜度不得小于 $1:10$ 。