

主题：气体流量标定系统



宇田控制科技股份有限公司

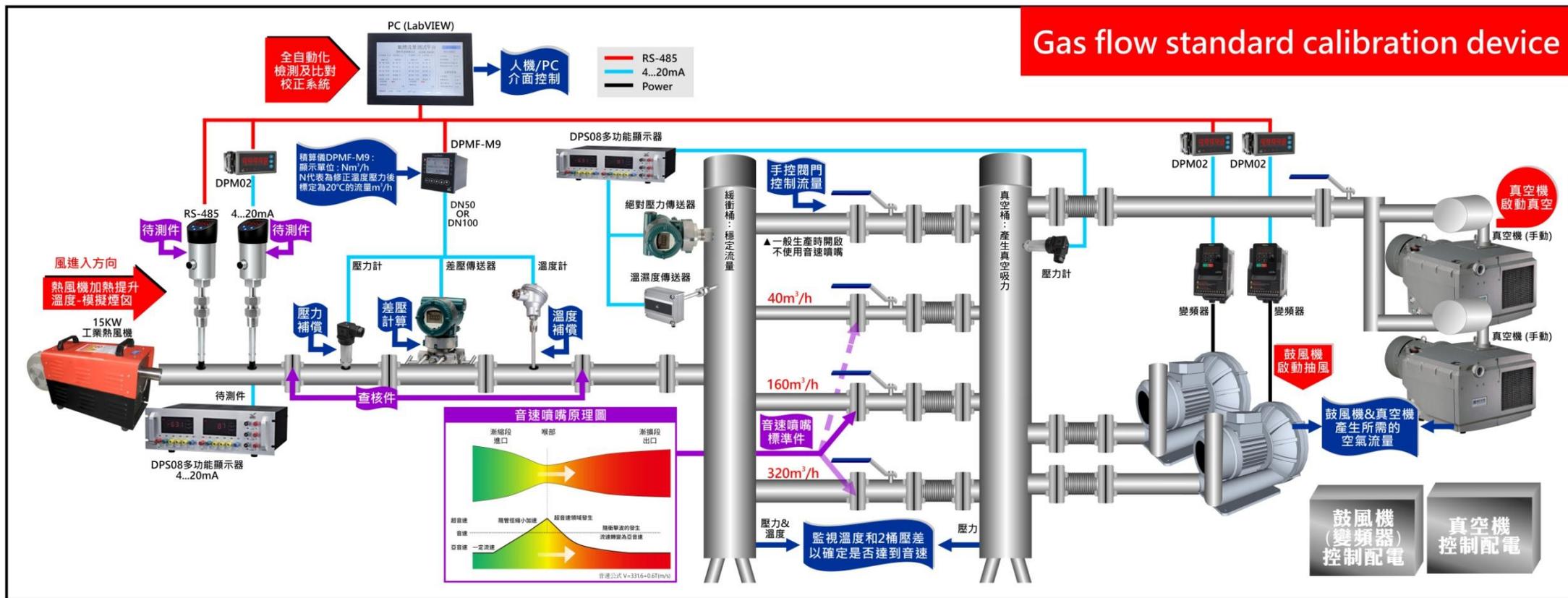
溫濕度 / 露點 / 風速 / 氣體 / 流量 / 壓力 量測專家

简报大纲

- 一、气体流量标定系统设计图
- 二、设计依据
- 三、装置设计原理概述
- 四、装置组成架构与实施方式
- 五、量测追溯体系(Traceability of Measurement)
- 六、对应产品

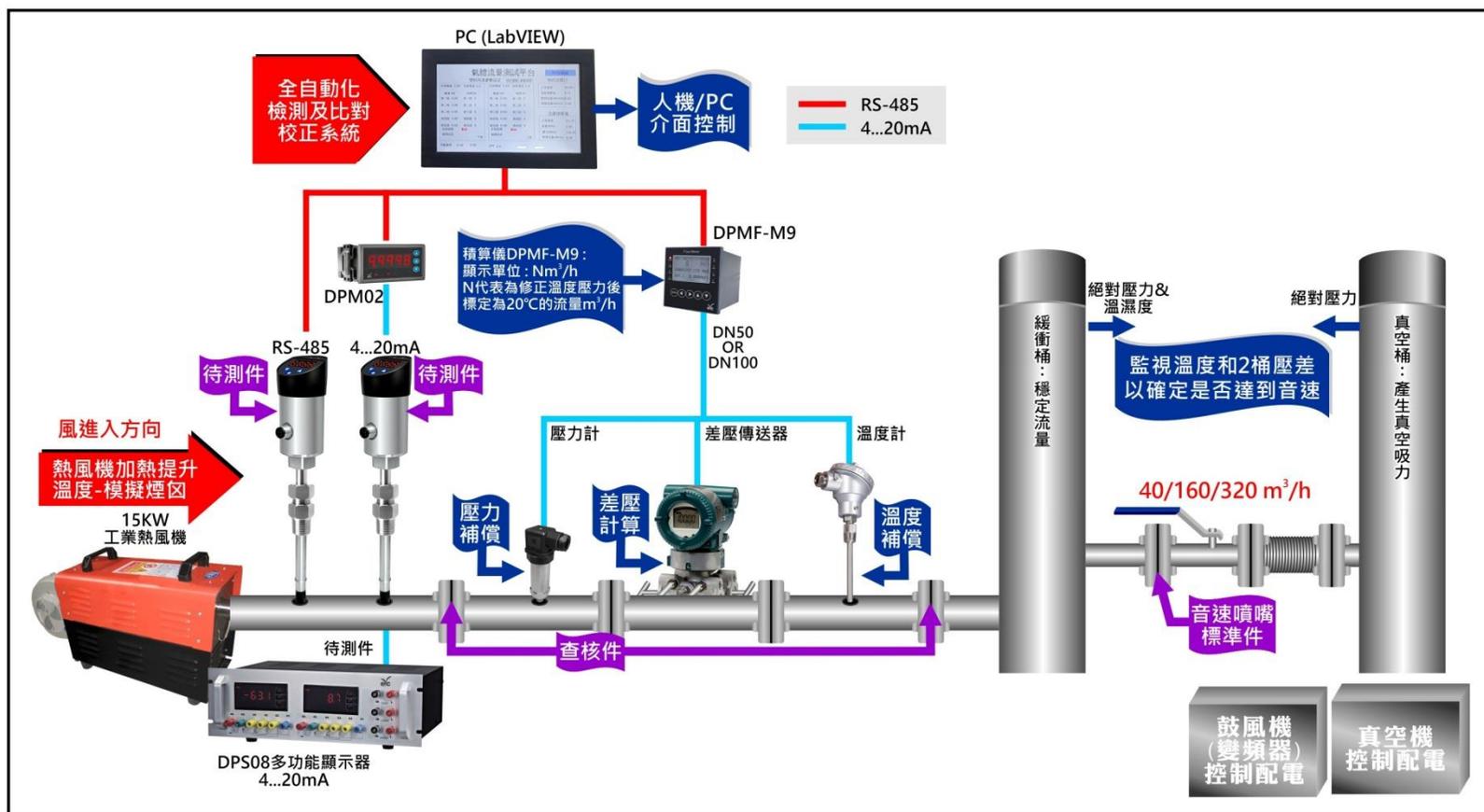


一、气体流量标定系统设计图



Auto-Instruments & Measurement
YUDEN

气体流量标定系统设计效果图



直立型音速喷嘴装置设备



二、设计依据

根据ISO9300 《临界流文丘里喷嘴流量测量》，规定的流量检定点，选择音速文丘里喷嘴的流量及数量。具体指标如下：

- 装置能力：

流量能力：1~1000 m³/h
(由4个喷嘴组成，分别为40 m³/h、160 m³/h、320 m³/h、480 m³/h)
口径能力：DN15~DN150

例：DN150-直径150mm，称6吋管。 1英寸=25.4mm

当频率60Hz，接热风机时最大流量可达539.3Nm³/h

若未接热风机时，可达1000Nm³/h，N代表标订20℃时。

- 变频器信号接口：

频率信号4~20mA电流输入。

- 音速喷嘴装置不确定度≤0.2%。
- 管道排列方式为直立并列方式。

- 装置标准依据

采用 ISO9300 临界流文丘里喷嘴流量测量(限流装置)

《标准表法流量标准装置检定规程》

《临界流流量计检定规程》

《质量流量计检定规程》

《临界流文丘里喷嘴流量测量》

《临界流流量计检定规程》

《速度式流量计检定规程》

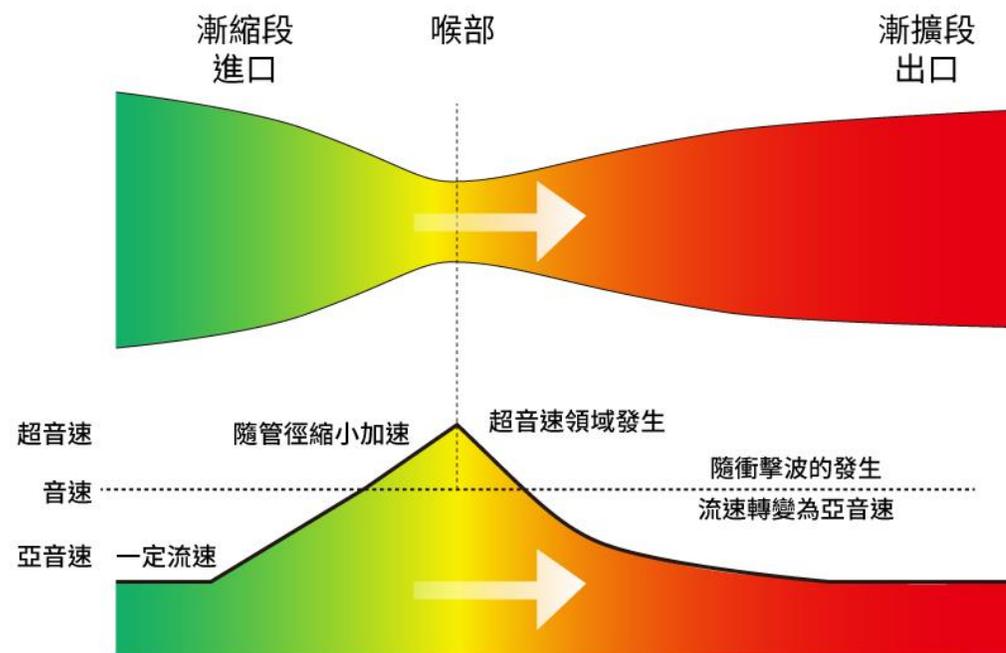
装置其他指针

- 压力变送器精度：0.075%
- 温度变送器精度： $\pm 0.15^{\circ}\text{C} \pm 0.002^{\circ}\text{C} \times t_{\text{actual}}$
- 相对湿度：(0% ~ 90%)
- 差压变送器精度： $\pm 0.5\%$
- 流量范围：1~1000 m³/h
- 检测介质：空气
- 使用环境：大气压力：86~106 kPa
- 供电电源：AC三相380V 60Hz
- 装置材质：主体304不锈钢材质

三、装置设计原理概述

- 本装置是根据需要标定的最大及最小流量范围由多个文丘里喷嘴组成标准流量装置组合。当实验气体经被检表进入容器后音速喷嘴的出口压力之比为一定值时，喷嘴喉部的雷诺数一定，则气流通过喷嘴喉部的流速恒定，此时即为临界流状态。根据连续性原理，此时通过被检表的气体质量流量，一定等于通过喷嘴处气体的流量。选择不同的喷嘴组合，就可以标定不同的流量值。然后通过环境条件检测如温度、压力、湿度，由计算机采集数据，通过修正算出标准的流量值，获得检定结果。

噴嘴內部空氣動力學分析



音速公式 $V=331.6+0.6T(m/s)$

临界流音速喷嘴特性

- 能够维持临界状态，所通过流量不会受到下游侧条件的影响，可以实现高精度的流量测量。因此，在先进国家的气体流量标准体系中，作为将国家一级标准器延续到次一级的标准器，使用音速喷嘴量测的比例较高。
- 由于是没有可动部分的形状单纯的金属制品，初期的流量测量特性可以永久的得到维持。此外，鉴于临界喷嘴的形状在ISO(9300)、GB/T21188-2007中均有所规定，因此用户方面可以准备与国家标准相同的转换器。

音速

- 音速 $c=331.6+0.6T$ (m/s)

(其中T为摄氏温度，331.6 m/s是声波在空气中温度为0摄氏度时的传播速度)。

- 当温度在20°C时的空气中，音速是343.6m/s

$$C=331.6+0.6*20=343.6\text{m/s}$$

- 声音的传播速度在固体最快，其次液体，而气体的音速最慢。
- 圆柱体的底面积乘以高，就是圆柱体的体积。

流量=管径截面积x流速

湿度

- 一种气体通过被校准流量计的湿度修正方法，涉及一种通过公式进行修正的方法，方法为计算公式中对密度进行湿度修正。
- 增加音速喷嘴的湿度修正，极大提高气体体积流量的计量精度。
- 由于大气中随着气温不同都含有一定量湿气，所以气体中的密度会随着相对湿度不同而变化。
- 经由湿度修正可将计量精度从0.5%提高到0.2~0.3%。

音速喷嘴量测气体质量流量

$$q_m = \frac{A * C * C' * P_0}{\sqrt{\left(\frac{R}{M}\right) * T_0}}$$

- q_m : 为音速喷嘴在实际条件下的质量流量，kg/s；
- A : 为音速喷嘴喉部的内截面积， m^2 ；
- P_0 : 为音速喷嘴入口的气体滞止绝对压力， P_a ；
- T_0 : 为音速喷嘴入口的气体滞止绝对温度，K；
- C' : 为实际气体的临界流函数，由滞止条件 (P_0, T_0) 查表得到；
- C : 为流出系数；
- R : 通用气体常数
- M : 为实际气体的摩尔质量。

$$q_v = \frac{q_m}{\rho} \quad , \quad q_m = q_v * \rho$$

- q_v : 体积流速。
- ρ : 气体密度。

$$A = \pi * \left(\frac{d}{2 * 1000}\right)^2$$

$$3.14159 * \left(\frac{d}{2 * 1000}\right)^2 * 3600 = 0.00282744$$

1 小时 = 60*60秒 = 3600 秒



简单计算式-范例

- 例如: 流速60m/s在DN10管内

$$Q_{10}=10*10*0.00282744*60\text{m/s} =16.96 \text{ m}^3/\text{h}$$

- 例如: 流速60m/s在DN50管内

$$Q_{50}=50*50*0.00282744*60\text{m/s} =424 \text{ m}^3/\text{h}$$

- 例如: 流速100m/s在DN40管内

$$Q_{40}=40*40*0.00282744*100\text{m/s} =452 \text{ m}^3/\text{h}$$

差压装置设计计算

- 工作温度 $t=20\text{ }^{\circ}\text{C}$
- 仪表系数 $K=0.4184$

$$Q_n = K * 1000 * \left(\frac{\Delta P}{\rho}\right)^{0.5} * \frac{\rho}{\rho_0}$$

- Q_n : 流量 Nm^3/h
- ΔP : 差压值 KPa
- ρ : 操作密度 kg/m^3
- ρ_0 : 标况密度 kg/Nm^3



各种气体密度

气体名称	密度
氢气	0.09
氦气	0.18
氮气	1.25 干空气密度
氧气	1.43
氟气	1.696
氩气	0.90

氯气	3.21
氙气	1.78
溴	7.14
臭氧 (O_3)	2.14
氨气	0.77
氡气	5.89
氪气	9.73

湿度修正

- 标准件上质量流量 β 已知
- 被校准流量计的体积流量 α
- ρ_1 被校件流量计的密度
- P_1 气体通过标定流量计前的压力
- P_0 标准状态时压力 $P_0=101.325 \text{ Kpa}$
- T_1 气体通过被标定流量计前绝对温度 ($^{\circ}\text{K}$)
- T_0 标准状态时绝对温度 $T_0=293.15(^{\circ}\text{K})$
- ρ_0 标准状态时干空气的密度 $\rho_0=1.2048 \text{ kg/m}^3$
- Rh 相对湿度
- P_H 温度条件下饱和蒸气压 Kpa
- P_N 大气压力 Kpa

$$\alpha = \beta / \rho_1 \quad \text{-----}(1)$$

- 干空气时

$$\rho_1 = \frac{P_1}{P_0} * \frac{T_0}{T_1} * \rho_0 \quad \text{-----}(2)$$

- 湿空气时 ρ_1 密度系数进行修正
- **修正系数**

$$K * Rh = 1 - 0.3778 \frac{Rh * P_H}{P_N}$$

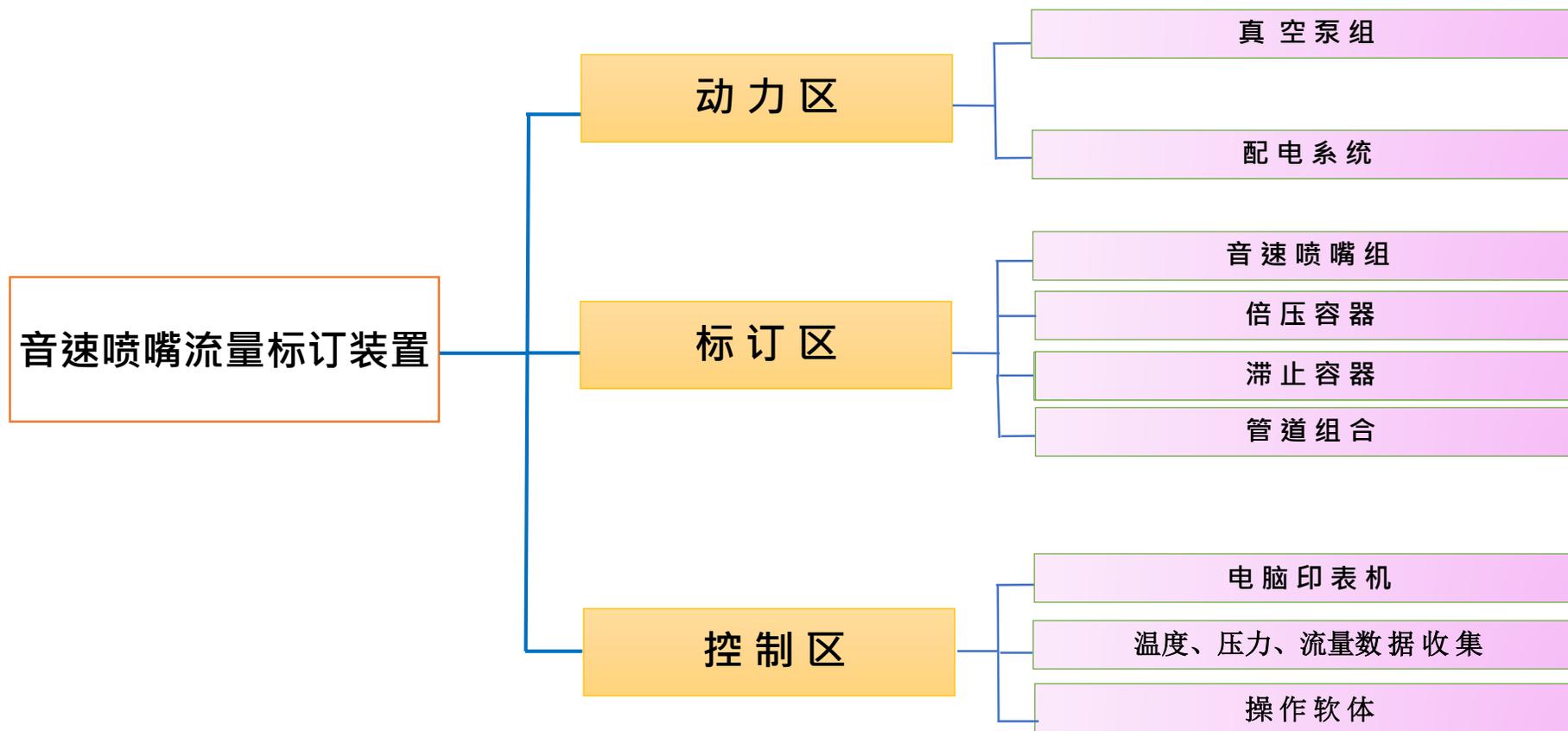
- 湿空气时此时 ρ_1 为 ρ_{1h}

- $\rho_{1h} = \frac{P_1}{P_0} * \frac{T_0}{T_1} * \rho_0 * K * Rh$

- $\rho_{1h} = \frac{P_1}{P_0} * \frac{T_0}{T_1} * \rho_0 * (1 - 0.3778 \frac{Rh * P_H}{P_N}) \text{-----} (3)$



四、装置组成架构与实施方式



音速喷嘴标定装置

气体音速喷嘴装置由以下部分组成：

- 2台罗茨风机（1台 $342\text{m}^3/\text{h}$ ），2台环形鼓风机（1台 $440\text{m}^3/\text{h}$ ）总装机容量达到 $1200\text{m}^3/\text{h}$ 。
- 动力配电采用变频器程序自动控制方式，以保证真空度的恒压。
- 基本管路采用304不锈钢材料，以确保气体的洁净和装置的耐用。

1. 动力区：

- 罗茨风机负压机组：

该罗茨风机具有结构合理、体积小、效率高、噪音低、运行平稳、使用寿命长、维修简便等特点。

- 环形鼓风机：

应用再生理论所设计的环形鼓风机，单段风叶经小风量增速，产生高风压特性。



智能弱电控制柜



装置设计动力配电采用变频器启动方式，工作时风机的启动开关采用人工选择控制，保证系统稳定运行，装置配有真空罐和倍压缓冲罐。

标准件-显示流量积算仪

数据显示

待测件

温度

缓冲桶压力



待测件

湿度

真空桶压力



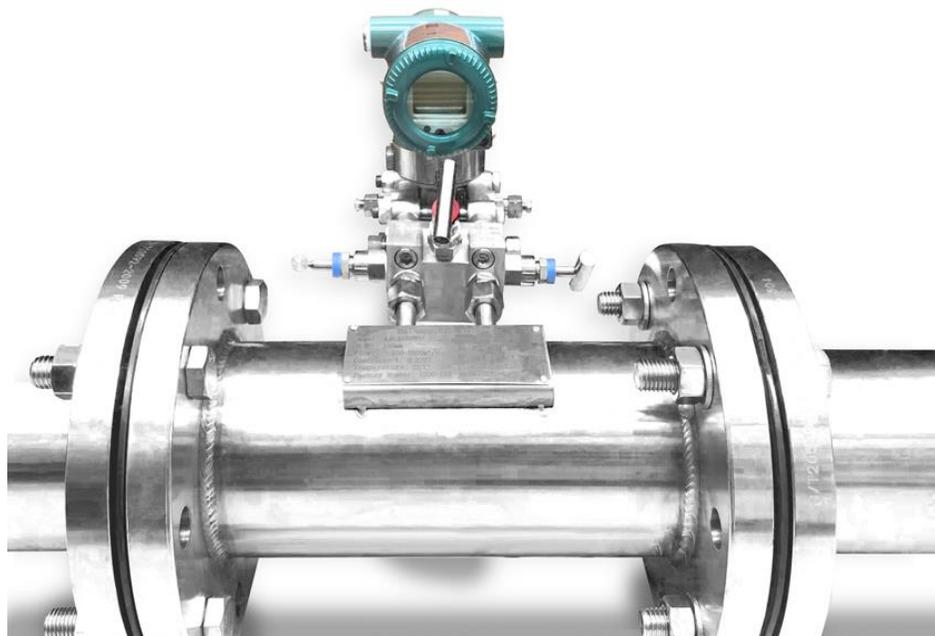
缓冲罐



真空罐

YOKOGAWA 差压传送器 & 多孔平衡流量计

差压传送器



多孔平衡
流量计

差压 (DP) 定义为两个压力之间的差异。差压传送器使用低压侧压力的参考点，并与高压侧压力进行比较，为 DP 读数的差值。取决于低侧是真空值，高压侧向大气开放，则 DP 传送器可用作表压传送器。

出厂量程: 0~100kPa

差压的 0.5% 精密度，使用 0.5% 校正 1~2% 的产品。

是一种多孔圆盘平衡节流装置，安装于管道截面上，每个孔的尺寸和分布基于独特的公式和测试数据定制，当流体穿过圆盘上的孔时，流体将被平衡整流。

涡流被最小化，形成近似理想流体，通过常规的取压装置，可获得稳定的气体流量，根据伯努力方程式算出体积流量、质量流量。



YOKOGAWA绝对压力变送器



绝对压力（AP）变送器是相对于完全（全）真空压力（绝对零压力）的测量，因此不受当地大气压波动的影响。所有绝对压力测量均为正值。测量单位中的字母“a”或缩写“abs”（即，H₂O（绝对值）或psia）表示绝对压力测量值。

CALRNG 0 TO 2 bar abs

1大气压=1013毫巴(mb)

变频器



两台60Hz 10HP、3相380VAC

工业热风机



仿真产品使用在烟囱内的温度，最高可达 350°C ，量测高温下排放废气流量

电热功率：3~5KW

最大风量： $0.8\sim 12\text{M}^3/\text{min}$

最大风压：100~1500pa

出口温度：常温~ 350°C

入口温度：常温

产品优点：体积小，重量轻，便于携带。热效率高，不间断连续工作、耐用持久、温控精确。

2. 标定区部分

- 基本管路部分
- 基本管路采用304不锈钢材质，以确保气体的洁净和装置的耐用。
检定基本管包括：DN15、DN25、DN40、DN50、DN65、DN80、DN100、DN150口径，以上口径均可在系统所配置的一条管路上进行安装管路，以检测产品。

文丘里音速喷嘴

- $40\text{m}^3/\text{h}$ 、 $160\text{m}^3/\text{h}$ 、 $320\text{m}^3/\text{h}$ 、 $480\text{m}^3/\text{h}$ ，设计4个圆环式临界流文丘里喷嘴、滞止容器、测量段的连接组件、控制阀门、倍压容器等，并配有温度变送器和压力变送器。
- 可呈现出 2^4 共16种变化、 $0\text{m}^3/\text{h}$ 、 $40\text{m}^3/\text{h}$ 、 $160\text{m}^3/\text{h}$ 、 $200\text{m}^3/\text{h}$ 、 $320\text{m}^3/\text{h}$ 、 $360\text{m}^3/\text{h}$ 、 $480\text{m}^3/\text{h}$ 、 $520\text{m}^3/\text{h}$ 、 $640\text{m}^3/\text{h}$ 、 $800\text{m}^3/\text{h}$ 、 $840\text{m}^3/\text{h}$ 、 $960\text{m}^3/\text{h}$ 、 $1000\text{m}^3/\text{h}$ （其中有3种变化重复）。

临界流文丘里喷嘴

- 俗称音速喷嘴，又称临界流喷嘴。主要应用于流量标准的传递、气体流量测量和流量系统最大流量的限制。最初是由航空航天工业中使用，现在临界流文丘里喷嘴广泛用于在汽车，能源及计量等不同行业。
- **特点**
 - 试验研究以及资料积累丰富，有国际及国家标准支持
 - 质量流量与文丘里喷嘴入口压力成线性关系
 - 所需上游直管段长度小
 - 长期使用精度高
 - 重复性好
 - 无可动部件
 - 不需要差压测量
 - 流量不会受下游管道干扰

- 音速喷嘴法气体流量标准装置适用于对各种气体流量计的检测和校准，可以检测质量流量计、涡街流量计标订、速度式流量计、容积式流量计、转子流量计、差压式流量计或其它种类的流量计。
- 优点：临界流文丘里喷嘴原理精度高，量程比大
- 缺点：体积大（和建造流量范围有关）

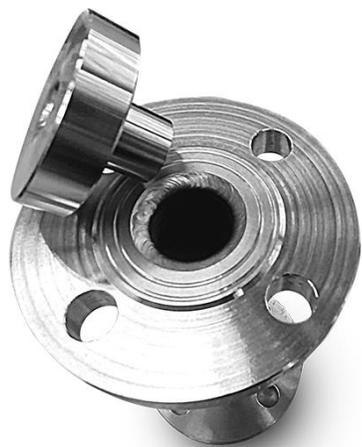


主要结构

音速喷嘴



管径



音速喷嘴产品合格证

产品合格证
LG-系列

产品名称: 音速喷嘴

产品编码: YD073001

规格: LG-CFV-40m3/h

出厂日期: 2019.07.30

精度: 0.2 级

喉部直径: 8.83

材料: 304 不锈钢

检验员: 检 1

检验结果: 合格

西安源典自动化设备有限公司
电话: 029-86218328 传真: 029-88994295
网站: www.xayzdh.com



产品合格证
LG-系列

产品名称: 音速喷嘴

产品编码: YD050701

规格: LG-CFV-160m3/h

出厂日期: 2019.05.27

精度: 0.2 级

喉部直径: 17.649mm

材料: 304 不锈钢

检验员: 检 1

检验结果: 合格

西安源典自动化设备有限公司
电话: 029-86218328 传真: 029-88994295
网站: www.xayzdh.com



产品合格证
LG-系列

产品名称: 音速喷嘴

产品编码: YD073005

规格: LG-CFV-320m3/h

出厂日期: 2019.07.30

精度: 0.2 级

喉部直径: 24.943

材料: 304 不锈钢

检验员: 检 1

检验结果: 合格

西安源典自动化设备有限公司
电话: 029-86218328 传真: 029-88994295
网站: www.xayzdh.com



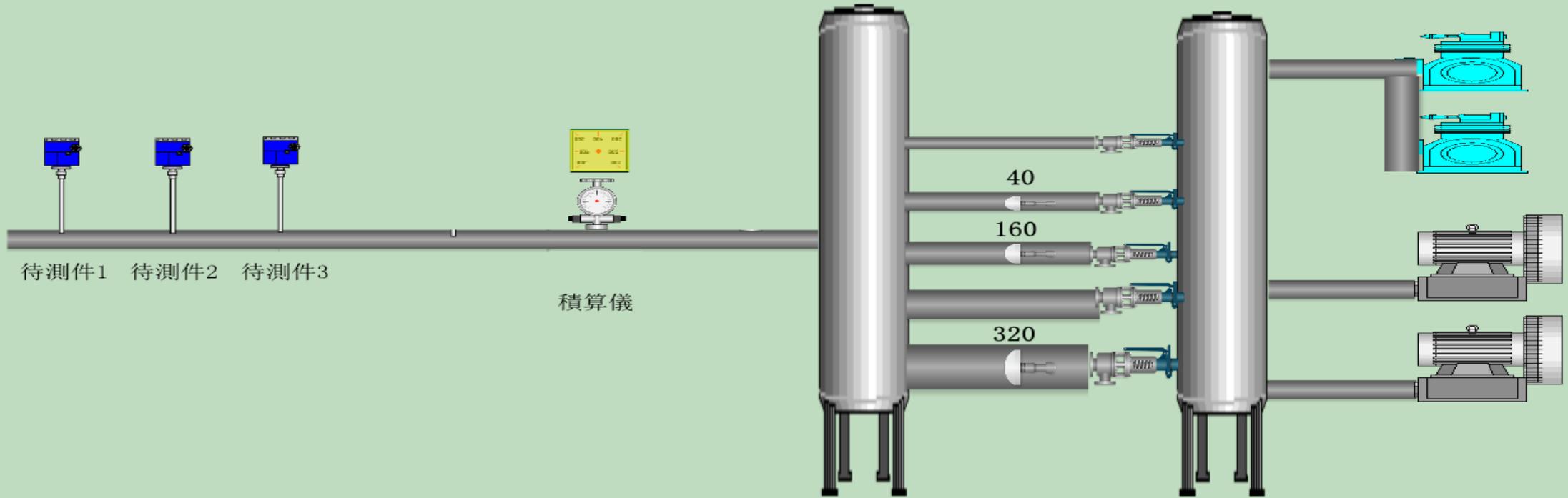
3. 控制区

- 控制系统构成

装置以PC机和Flow Meter流量表（自主研发专用高精度控制板）为核心完成系统控制和检定任务。其主要是完成流程控制设备的开关、信号采集、数据处理、打印仪表检定数据（或检定报告）等功能。



氣體流量測試平台



自动化校正软件

- 一、标准件及待测件-实时记录数值、产生曲线图。

站號	風速	溫度
102	31.91	24.83
7. Digital Station Management (middle left): '數位待測計個' (Digital Station Count) set to '1', '數位計站號' (Digital Station No.) range '1 ~ 100', '清除站號' (Clear Station No.), '掃瞄站號' (Scan Station No.), and '停止掃瞄' (Stop Scan) buttons. 8. Digital Station Information (middle right table):

站號	序號	產品名稱	韌體版本	風速	溫度	CTA
1	C19092406	FTS84	v1.5.13	32.10	24.77	2.46

9. Measurement Parameters (bottom left): '顯示小數位數' (Display Decimal Digits) set to '0.01', '量測間隔時間' (Measurement Interval Time) set to '5', '平均採樣數' (Average Sampling Count) set to '3', '重讀次數' (Retransmission Count) set to '5', 'EYC Delay(ms)' set to '100'. 10. Storage Name (bottom left): '儲存檔名' (Storage Name) field with '9' entered. 11. Navigation (top): Tabs for '設定' (Settings), '校正品檢設定' (Calibration Item Inspection Settings), '風速系統控制' (Wind Speed System Control), '記錄總表' (Record Summary), '平均記錄' (Average Record), '風速曲線' (Wind Speed Curve), '溫度曲線' (Temperature Curve), and 'CTA曲線' (CTA Curve). 12. Title Bar: '風速生產程式_v1.4' (Wind Speed Production Program_v1.4)."/>

- 二、自动生产流程-以标准件自动更正被测件、再检测被测件。

設定 校正品檢設定 風速系統控制 記錄總表 平均記錄 風速曲線 溫度曲線 CTA曲線

產品型: FTS8x 執行狀況: 正在執行檢測第30點, 剩餘時間82秒 (總執行時間剩餘48分52秒) 生產報表名稱輸入: VFS84-4011-0M 執行設定

將執行時間: 180 秒 設為執行時間: 90 秒 變更時間設定

檢驗表磁碟: D:\ 工單號碼: C19092406001 FTS84 40m.xlsx

儲存種類: 風速 風速 + 溫度 儲存測試報告: 是

品檢上下行選擇: 上下行

校正點數: 11 清除設定

執行點數	設定風速	執行時間(秒)
第1點	0.0	240
第2點	4.0	90
第3點	8.0	90
第4點	12.0	90
第5點	16.0	90
第6點	20.0	90
第7點	24.0	90
第8點	28.0	90
第9點	32.0	90
第10點	36.0	90
第11點	40.0	90

檢測點數: 11 循環數: 3 清除設定

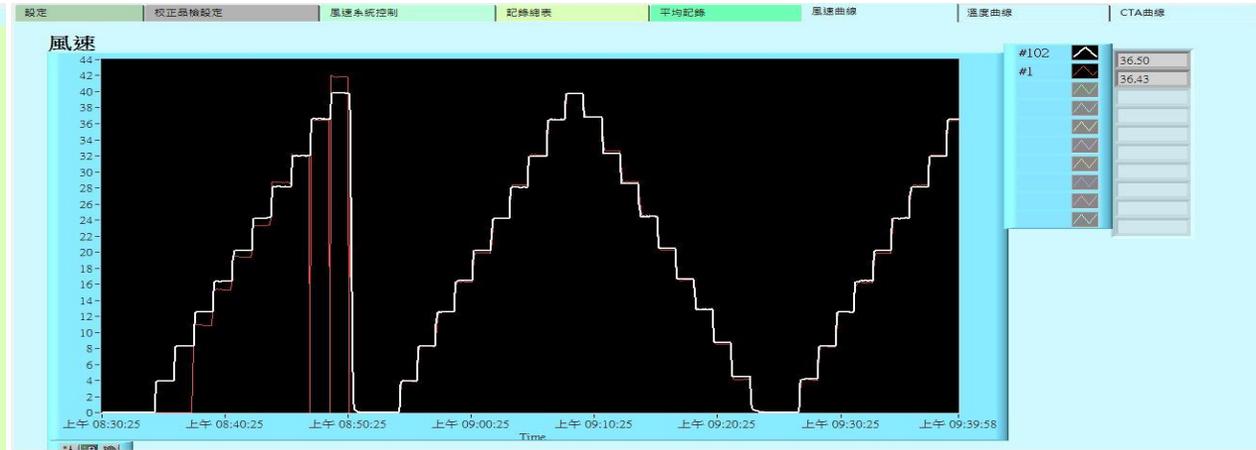
執行點數	設定風速	執行時間(秒)
第1點	0.0	240
第2點	4.0	90
第3點	8.0	90
第4點	12.0	90
第5點	16.0	90
第6點	20.0	90
第7點	24.0	90
第8點	28.0	90
第9點	32.0	90
第10點	36.0	90
第11點	40.0	90

寫入校正值 清空校正值 關閉工廠模式 啟動防寫

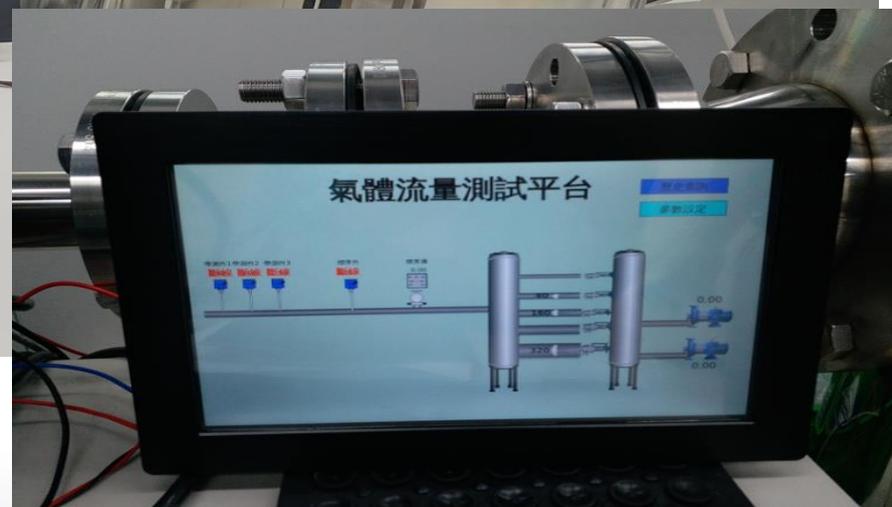
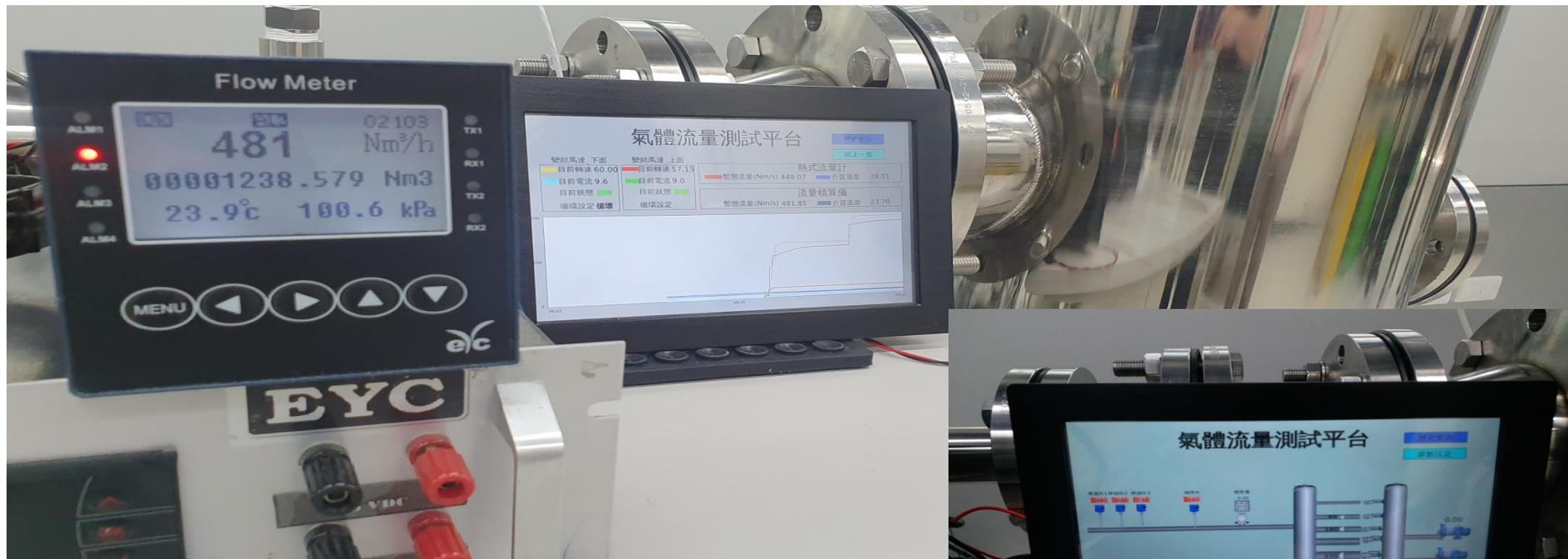


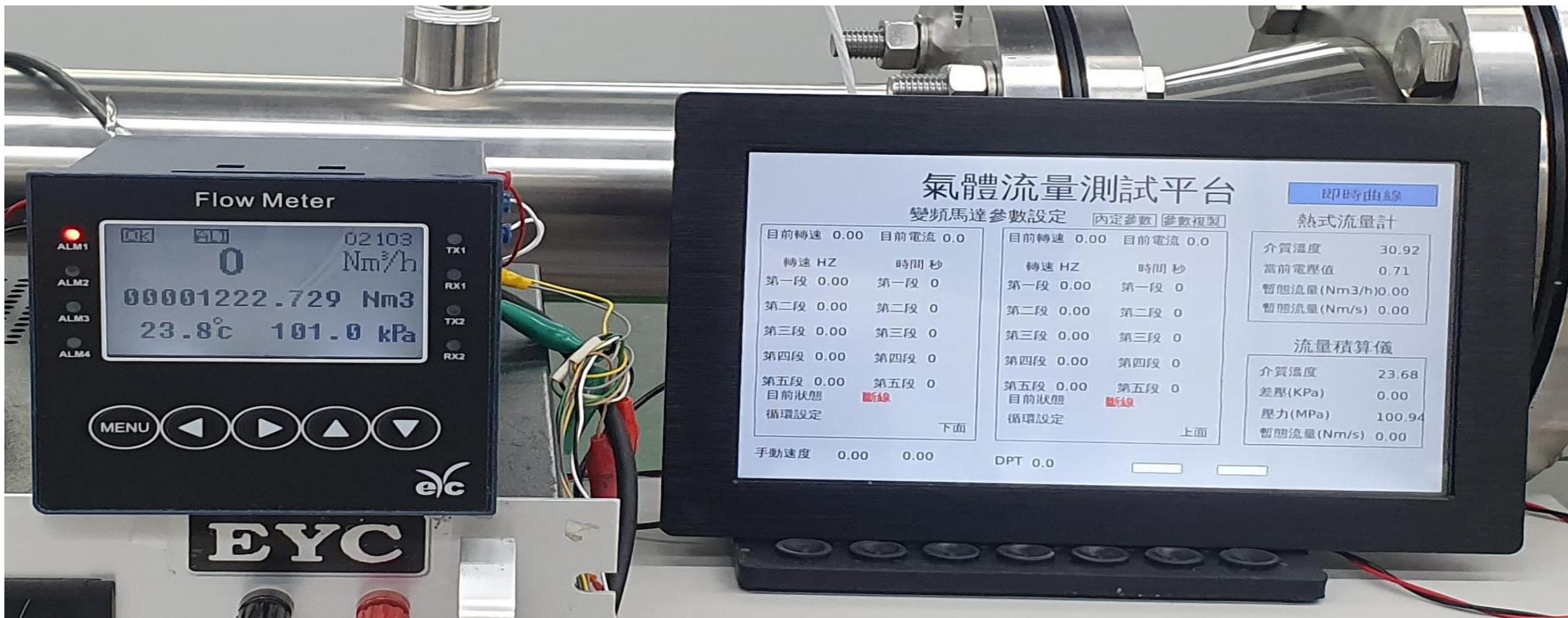
• 三、产出报告、分析报表

時間	設定電壓	標準風速#102	標準溫度#102	數位風速#1	數位溫度#1	數位CTA#1	#201_輸出電	#202_實際電	#211_環境溫	#212_環境濕
2019/9/27	0.00	0	25.25	0.00	25.25	1.40	0.00	0.06	25.25	73.87
2019/9/27	0.00	0	25.25	0.00	25.26	1.39	0.00	0.06	25.25	73.85
2019/9/27	0.00	0	25.25	0.00	25.26	1.38	0.00	0.06	25.25	73.84
2019/9/27	0.00	0	25.25	0.00	25.26	1.38	0.00	0.06	25.25	73.81
2019/9/27	0.00	0	25.25	0.00	25.26	1.38	0.00	0.06	25.25	73.79
2019/9/27	0.00	0	25.24	0.00	25.26	1.37	0.00	0.06	25.24	73.77
2019/9/27	0.00	0	25.24	0.00	25.27	1.37	0.00	0.06	25.24	73.76
2019/9/27	0.00	0	25.25	0.00	25.27	1.37	0.00	0.06	25.25	73.74
2019/9/27	0.00	0	25.25	0.00	25.27	1.37	0.00	0.06	25.25	73.73
2019/9/27	0.00	0	25.24	0.00	25.27	1.36	0.00	0.06	25.24	73.73
2019/9/27	0.00	0	25.24	0.00	25.28	1.36	0.00	0.06	25.24	73.72
2019/9/27	0.00	0.00	25.24	0.00	25.28	1.36	0.00	0.06	25.24	73.71
2019/9/27	0.00	0	25.24	0.00	25.28	1.36	0.00	0.06	25.24	73.71
2019/9/27	0.00	0	25.23	0.00	25.29	1.36	0.00	0.06	25.23	73.70
2019/9/27	0.00	0	25.23	0.00	25.29	1.36	0.00	0.06	25.23	73.69
2019/9/27	0.00	0	25.22	0.00	25.29	1.36	0.00	0.06	25.22	73.67
2019/9/27	0.00	0	25.23	0.00	25.29	1.36	0.00	0.06	25.23	73.68
2019/9/27	0.00	0	25.22	0.00	25.29	1.36	0.00	0.06	25.22	73.68



气体流量测试平台





- 数据采集功能

- 对标准流量计的温度、压力、差压的4~20mA电流信号数据采集；

- 对被检流量计4~20mA电流信号的数据采集；

- 数据处理功能

- 按照国家检定规程进行检定数据处理和结果判定；

- 系统可以对各种被检流量计、温度变送器、压力变送器

- 数据进行计算和喷嘴组合设置；

- 检定时间灵活设置；

- 系统可显示在流量检定过程中的流量调节过程；

- 系统可将每台仪表检定数据存入数据库，用户可随时进

- 行数据查询、打印，检定结束后可打印检定记录报表和

- 规定格式的证书。



五、量測追溯體系 (Traceability of Measurement)



六、对应产品

- FTM06热线式风速传送器

| 产品特点 |

- IP67
- 电阻温度感测器(Resistance temperature detector)
- 模拟和RS-485输出
- 适用微腐蚀性的空气
- 坚固的不锈钢外壳, 适用于各种恶劣环境
- 内建温度补偿机制, 适应冷热环境使用, 数据不失真



简报结束

