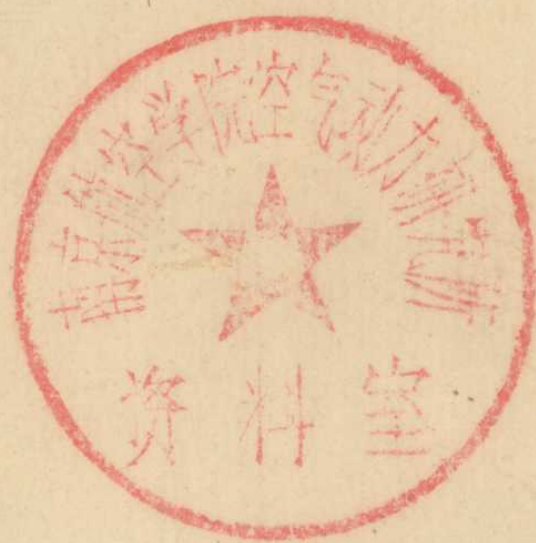


TSI 热线热膜风速计  
说明手册汇编

盛森芝 陈殿兰 谢淑环 译校

第一册



北京大学力学系

1983年3月

TG44  
1037-A1

由于时间紧，任务急，我们只能按英语直译，而无法做到意译，所以在不少地方文字上保留着外国语言的某些习惯，读起来有些不舒服。此外也可能还有错误和遗漏，还望同行们批评指正，在此先致以衷心的感谢。



30895142

编译者：

盛森芝

陈殿兰

谢淑环

一九八三年三月二十八日

#

T S I 热线热膜风速计说明手册汇编

第 一 册

- 一、1050 系列风速计通用系统资料
- 二、1050 及 1050 A 型恒温风速计使用说明手册
- 三、1051 监控器和电源操作说明
- 四、1052 线化器说明手册
- 五、1057 信号调节器说明手册

#

## 1050 系列风速计通用系统资料

### 章 节 目 录

1	一般资料 and 安装	1
1-1	绪 言	1
1-2	安 装	2
2	测量步骤	5
2-1	工作原理	5
2-2	进行测量	8
2-3	校准过程	11
2-4	冷却式敏感元件	15
3	维修资料	18
3-1	接头修复	18
3-2	增加或更换组件	20
3-3	初步的线路检验	23
3-4	故障检修	24
3-5	定期维护	28

#

## 1 一般资料 and 安装

### 1-1 绪 言

1050型风速计和有关的辅助设备，已被设计为具有多功能性，坚固性，可靠性和精确性的仪器，使它能广泛适用于液体和气体中的各种各样测量问题。

1050型风速仪对研究应用是比较高级的仪器。同时已被加固到用于工业和航空业，在那些地方多数风速计系统的高昂的价格和易损性，使得这样的测量无法进行。

#### 1-1.1 仪器描述

组件结构使得允许用户扩展系统到多通道，多功能或者多信号条件。组件是在内部相连，并且可以由用户任意重新排列。

一个完整的1050型系列仪器由这些部件组成：

a. 控制电桥和放大线路。下面五个风速计组件可被利用：

1050型，1050 A型，1053 B型，1054 A型和1054 B型。

b. 电源和DC读出线路。以下监控器和电源组件可被利用：

1051-1，1051-2，1051-6和1051-10（AC 115V或230 AC全部用于不同的多通道容量）破折号数表示了风速计可能有的最大通道数。

c. 组合框或机壳。（1058-X型，其中X= $\frac{1}{6}$ 组件宽度的编号。）提供了从两个 $\frac{1}{6}$ 组件宽度到12个 $\frac{1}{6}$ 组件宽度几种尺寸。

d. 探针部件由敏感器加上外壳或者适当的支架组成（参看TSI热线和热膜风速计探针样本）

e. 控制电阻器（1304或1305型）可变十进电阻器组件

(1056型)或温度补偿电阻器(它们应该是探针的一部份)。该元件调节正被使用的敏感元件的工作电阻。在1050和105A型风速的情形可变十进电阻是装在内部的。

f. 辅助和/或附加组件。这些组件可作为信号调节,线性化,温度测量或数据计算用。

### 1-1.2 组件的相互连接

对包含在操作说明中每一种型号是用图形显示组件之间内部联系以及信号到和从每种型号组件的内部走线的。每个系统是在最好的连接线的情况下装运的。以便使得每个组件的每个功能在设有联接单元之间,外部电缆的情况下可以被利用。

如果需要组件可以增加,可以在功能上改变或者在现场重新组合。每当主电源打开时,从鉴控器和电源组件接收功率的所有组件被打开,而与通道选择开关位置无关。

### 1-2 安 装

#### 1~2.1 检 查

这个仪器在货运之前已经在机械和电气二方面作了仔细检查。那是应该没标记,损伤,遗漏元件或者辅助设备,或者电子性能方面有任何故障。为了证明,就应该象在维修章节表明的那样检查任何不足并且进行电子检验。如果有任何缺欠,那么就on应该和热系统公司或你们最近的TSI代办人取得联系。

每个系统带有下列品目组套装运的:

a. 每个单元带有内部电源用的三线功率电缆

(6呎长)

# b. 为每个风速计组件用的三芯探针电缆（15英尺或5公尺长）型号为1010（这个电缆有17欧姆的阻抗，并且不是标准电缆——从TSI订购新电缆。）

这个电缆不包括用在1352系列质量流量计系统内。

c. 相应的说明手册，每个单元本身有一个说明手册。

### 1-2.2 电源要求

为每个仪器连接的电网功率是用安置在紧挨着背板上电源插头之后的辨别标记示明的。1051-1, 1051-2, 1051-6和1051-10供应的是或者115 V A C或者230 V A C电网电压。如果错误的电网电压被示明，那么位于1051电源背后下面的滑动开关必须更换。大多数最近的热线系统（1975年十月以后）为了便于更动开关，直接在滑动开关下面底部机壳上开有一个孔。否则电源必须从机壳上移去。用小螺丝刀改变这一开关。不要把错误的电源连接到单元上。

### 1-2.3 机座或工作台的安装

1050系列组件每个都有一个EIA标准的7"替换框的面板高度。

1058-6和1058-12型机框适合在EIA标准宽19"框面板，在框架安装托架以后，被连接在一起。

每一个仪器是带有顶部把手，前面装饰带以及作为工作台用的橡皮支脚的情况下装运的，除了为框架安装用的专门订货而外。

为改变1058-6系统或者较大机壳到框架，其安装过程如下：

a. 拆除在底板上的橡皮保护防震器。

b. 从机壳顶端拆除把手。为了做到这一点，首先要拆除安置在把手每一边的镀铬装饰。并且用螺丝刀沿装饰板的一个棱向上撬出。

c. 拆除装配在机壳前面的组件铝制装饰条。这些装饰条是把单个组件固定在应有的位置上的，而组件应该从框架中拆除的。

d. 装备好附加转换框支架。在拧紧螺丝以前，排列托架使之与面板弄平并且甚至从上到下弄成平面。

#### 1—2.4 为装运重新包装

如果风速计为装运而重新包装，那么下述一般原则应该遵循：

a. 如果可用的话，把仪器放在原来的包装箱内  
(如果需要可以由 T S I 提供一个新的包装箱)

如没有合适的包装箱可使用，那么：

b. 在放入内部包装箱之前，用厚纸和塑料包紧仪器。

c. 在全部边上周围放置很多包装材料，并且用纸板和泡沫条保护面板。

d. 放入厚纸板盒或木箱中，并且用货运带或金属带封接。

e. 用“易损仪器”或“易碎仪器”等标记货运包装箱。

注意：如果装置是为维修运回的话，包括说明返回理由等。

#### 1—2.5 长久运输和空运的情形

如果为工作、储存地点等之间运送，希望安全方便，可运输性的话，那么可以从 T S I 购买适合于机壳尺寸的耐用的，加垫圈情形的包装箱。订购 1142—3，1142—4，或 1142—6 以适应机壳的尺寸。

## \* 1—2.6 风扇连接

如果 1058 机壳的现场安装已装备有一电扇 ( 1058 - 6 F 或 1058 - 1 2 F )，那么风扇必须像下面所示的那样。在 1051 电源滑动开关的端点 1 和 4 之间连线。

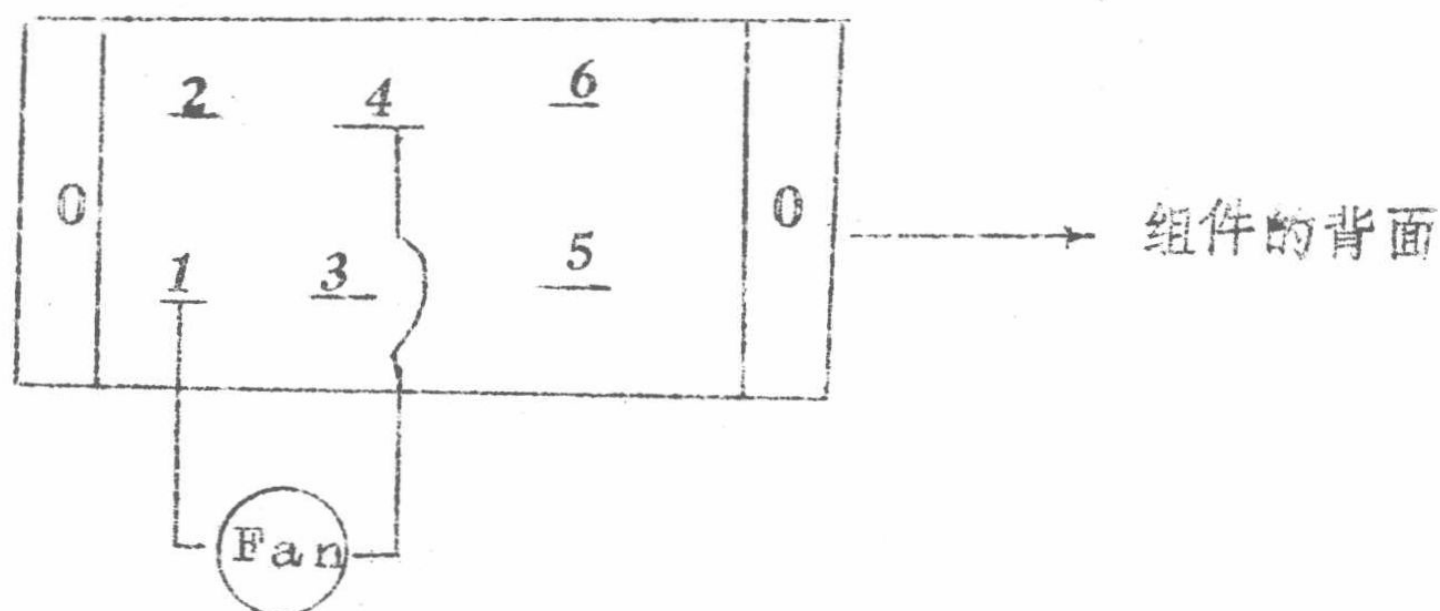


图 1—1 风扇连接

## 2——测量步骤

## 2—1 工作原理

与 1050 型风速仪一起使用的传感器是一个被加热了的并且是被控制在升高了温度的电阻。敏感器中被损耗的电能量是由流过热敏感器的流体的致冷效应所量度的。

敏感器通常或者是细金属丝 ( 铂、钨或铂合成 ) 或者是镀石英的热膜传感器 ( 0.001 " 到 0.006 " 直径, 园柱形、楔形、园锥型的, 抛物线型或者扁平形 ) 或者是被强化了敏感器。如 1266 型那样。敏感器通常装在一个探针上或联接三轴电线末端的风速计上 ( 15' 标准长度 )。

敏感器的致冷效应取决于质量流和敏感器与流体之间的温度差。

电桥电压与质量流 或质量流量之间的关系如 F :

$$\frac{E^2 R}{(R+R_s)^2} = (A + B(\rho V)^{\frac{1}{n}})(t_s - t_e) \quad (1)$$

其中: A, B = 流体和敏感器型式所决定的常数。

变量包括热传导, 粘度和普朗特常数。

$\rho$  = 气体或液体密度。

V = 速度

n = 指数 (接近于 2)

$t_s$  = 敏感器工作温度。

$t_e$  = 流体或环境温度

$t_s - t_e$  = 在汽体中典型值为 225 °C, 在水中为 40 °。

R = 敏感器工作电阻。

$R_s$  = 与敏感器串联电阻, 一般为 40 欧姆。

E = 电桥电压。

假定敏感元件用于测量气体速度。因为电桥是平衡状态, 对 5 : 1 电桥来说敏感器工作电阻 R 是控制电阻的  $\frac{1}{5}$ , 在 1 : 1 电桥中, 敏感器电阻 R 等于控制电阻 (仅仅 1050)。

控制电阻的值, 将选择在使工作电阻 R 足够高的电阻上, 以便达到所需要的工作温度。敏感器是一个具有温度系数的电阻器, 以至它的温度随电阻而变化。电桥中的另一个电阻器是具有低温度系数的固定电阻器。如果敏感器温度远远高于流体温度, 那么信号将对温度不敏感, 但是对速度很敏感 (也就是说, 如果  $(t_s - t_e) = 200$  °C

# 那么在  $t_s$  中的  $2^\circ\text{C}$  变化, 将代表 1% 的温度误差)

如果在流体温度有重大的变化下同时测量流体速度, 那么控制电阻器可以是一个与传感器温度系数相配的电容器, 使得当  $t_s$  变化时  $t_s - t_e$  保持恒定。因此敏感器或者工作在恒定温度上(恒阻)或者工作在流体温度以上的恒定温度差的情形。

实际上, 当风速仪转到“RUN”位置时, 电流流过电桥。放大器检测了任何偏离平衡, 并且反馈或多或少的电流, 直至电桥进入平衡为止。例如: 如果在室温时敏感器电阻是 6 欧姆, 同时它在 9 欧姆上工作, 那么控制电阻将选择为 4.5 欧姆 (在 5:1 电桥), 加上补偿探针电缆所需要的电阻 (电缆电阻  $\times 5$ )。这或者是使用适当型号 1304 (专门用于调节温度的补偿探针) 补偿电阻器做到, 或者是将可变十进电阻 (另平衡电缆以后) 调节到  $9\ \Omega$  来做到。当电路被加电时, 通过敏感器的电流增加, 直到加热到 9 欧姆为止。如果通过敏感器的风速增加, 那么敏感器将趋于变冷, 从而降低它的电阻。放大器将检测偏离平衡, 并且用电流反馈修正, 使敏感器返回到 9 欧姆。电桥电压将作相应的改变, 这个改变正是反应流动改变, 并且在表头中显示和输出。

参照方程(1)可以看到, 电桥电压信号与质量流或风速的关系是极端非线性的。在 1054 A, B, 1055 和 1052 中的线性化电路是一个这样的设备, 它首先减去一个常数, 然后产生一个函数, 这个函数转换电桥电压讯号到随质量流 (当  $P$  是常数时为速度) 成线性关系。如果温度恒定或者被补偿输出, 那么精确线性化就可做到。

当温度测量时, 敏感器像电阻温度计那样使用, 电阻温度计

是和流体温度相平衡的。因为电阻随温度变化，所以电阻量度就表示了温度。当测量温度时，一个很小的恒定电流通过被使用的敏感器。因为没有反馈控制去补偿敏感器，所以温度测量只有在像敏感元件自然呈现的频率响应上来进行。

## 2-2 进行测量

这一节将包括用 1050 型风速计进行测量的一般资料。随每台仪器的操作说明将提供比较详细的说明。把实验变量分成不是实验者直接控制和能被实验者控制的实验变量是方便的。为了讨论的目的，一切周围条件，例如流体通路，将考虑在实验者控制以外。换句话说，环境状况已经提供并且目的是进行测量。然而，当一个很困难的测量问题存在时，由改变某些环境条件获得所希望的讯息的可能性，不应该被忽视。

在被控制各参量中有传感器的型式，传感器的工作温度（或过热比），安装型式（探针）以及温度补偿是否被使用。

### 2-2.1 探针选择

1050 风速计将运用在几乎任一种温度敏感的电感器中。敏感元件的广泛选择，标准的和专用的二者都能使用。然而通常只有一种传感器型式对给定测量是最好的。参看 T S I 的风速计产品介绍和专门公报。

1050 型风速计原则上是对热线或热膜传感器二者设计的。热膜传感器对许多应用具有最好的特性。然而对一些边介层工作或极低水平湍流测量，细钨丝热线在频率响应和信噪比二者都更有利。

冷膜传感器是用在  $500^{\circ}\text{C}$  以上温度的地方。在那里一般热线

和热膜不能工作在足够的热去提供较好的灵敏度，而冷传感器，由于它的内部致冷的缘故可工作在低温状态。为了在导电液体中工作（比如像水），热膜传感器必须有一层较厚的石英涂层。这个涂层应该在订购时指明。石英涂层直到大约 30 KHZ 都不影响频率响

### 2-2.2 敏感元件的工作温度

风速计说明手册包含了对工作温度的调节步骤和被推荐的过热比。当使用固定的控制电阻或者温度补偿探针时，流体的名称和工作温度的范围，对于 1050 系列来说，在购置时将作为固定工作温度用的。对于气体，1304 型补偿电阻或温度补偿探针，通常工作温度调节在 250 °C。只有在金属覆盖的传感器（1266 型）的情况下除外，那里敏感器工作温度是 125 °C。在水中传感器温度是 66 °C。如果要求不同的工作温度，那么对 1304 型电阻器来说，不同的电阻是需要的，其中已知传感器工作电阻值是补偿电阻的  $\frac{1}{5}$ 。

在 1050 型上带有可变十进电阻，或者其他风速计与 1056 型一起使用时，操作者可以选择任何过热比。这给出了一个比使用固定电阻更灵活的系统，但要求操作者更多的调整。

对速度和质量流测量来说，最好的灵敏度是在保持对温度变化最小灵敏度时具有最大温度差的情况下得到的。热膜元件最大的可靠温度大约是 425 °C。

为了测量温度脉动，在环境温度附近工作是合乎要求的。然而这具有要求从电路输入极低电功率的缺点，因此就减少了频率响应。替代的办法是使用一个吸引式探针或者二个敏感元件是在很近的两个不同表面温度的地方使用，同时解出速度和温度。

在液体中最大表面温度依赖于沸点或分解点。在水里由于空气

溶解于水所画出的趋势是随温度而上升的，所以工作在给出适当灵敏度的最小温度是最好的。

### 2-2.3 探针类型

在 T S I 仪器样本中比较详细介绍了探针外形。而且，T S I 技术报告中讨论了定向测量用的技术，相关测量技术以及单敏感元件在流动中的特征。

### 2-2.4 温度补偿

如果温度随着流动变化，那么有若干种技术用于采集温度进入总量中。假如温度改变比较缓慢（周围环境变化），那么以下技术可以使用。

a. 与流动一起测量温度然后对校准温度和实际温度之间的温度差修正流动数据如下（当没有温度补偿时）：

对电桥修正乘以  $\left( \frac{t_s - t_{e_2}}{t_s - t_{e_1}} \right)^{1/2}$

和对线性化输出修正乘以  $\left( \frac{t_s - t_{e_2}}{t_s - t_{e_1}} \right)^2$

其中  $t_{e_1}$  = 新的环境温度。

$t_{e_2}$  = 校准温度

上面这些只是近似的修正。

如果温度变化范围比较大，或者在因子“ A ”或“ B ”随温度改变比较快的流体中，那么应该使用更精确的修正因子。

※ b。或者在流动测量探针上，或者在同一流动中在给定速度上当温度变化时，为保持电桥输出恒定的各个探针上，使用一个温度补偿线圈。这具有大约 10 Hz 的最大可行的频率响应。为了达到较好的精度，就必须小心调节以便匹配所使用的敏感元件。

c。对于较高的频率的温度补偿，二个风速计系统可以被同时使用，以操作在不同温度中的两个敏感元件。于是两个方程提供了二个未知数，温度和流量，这两个方程能被分析或校准求解。附加的资料已在技术公报上给出。

### 2-3 校准过程

由热膜或热线传感器测量的基本变量是从线到流体的热转换速率。因为这不是普通的感兴趣变量。所以校准必须用电桥电压对速度或质量流来进行。

如果希望对空气和很多其它气体，或水提供已校准的探针，那么热系统可以做到。对于其它流体，用户应该完成它自己的校准。

#### 2-3.1 校准装置

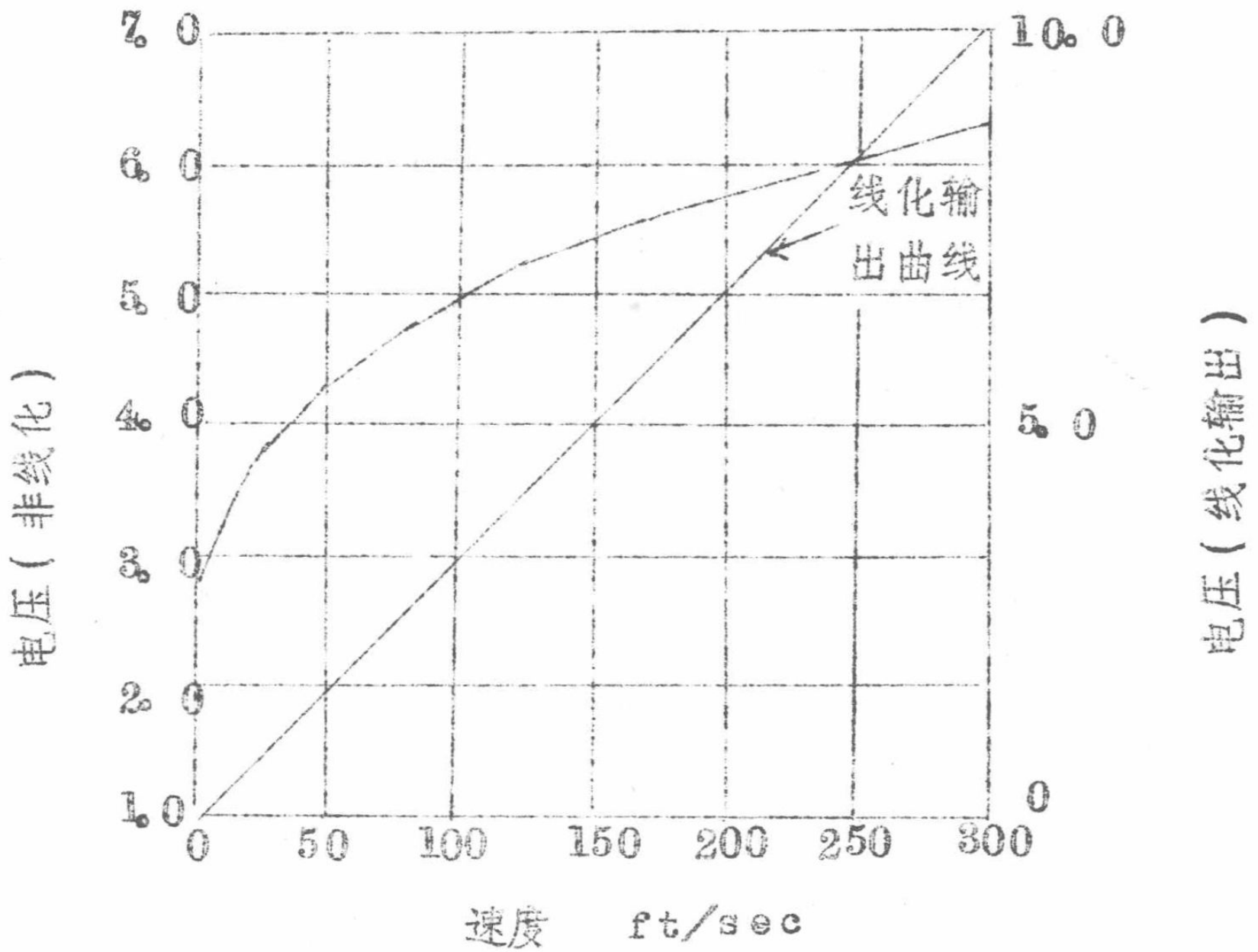
热系统制造了一个比较小（风洞一样）的校准设备，该设备有一个小的由两个串联的平稳腔馈送的喷嘴。1125型校准器能用于校准气体和液体中大多数点测量的热系统探针。校准时用微压计测量压力降，并且从图表决定速度。

另外，对于在空气里标定，皮托管或激波管可以被用于在流动系统中作为参考，其中流动是平滑的，并且湍流度很低。有平稳的网格的风洞或流动管子将足以控制湍流强度。

对于联机的流动探针，探针应该与作参考用的流量计串联运行。

### 2-3. 2 速度校准

在信号输出和风速或质量流之间的关系的形式可以从方程 1 看到。如果校准曲线用风速对电桥电压画出，那么结果是一条很不线性的曲线（近似 $\frac{1}{4}$ 次关系）。校准曲线将具有类似图 2-1 的形状。在很低的流动速率时灵敏度最大。事实上，在比较低的流动速率时，由于灵敏度随着电桥电压而增加，情形往往是比没有线化要更好。



直径 0.002 英寸 (0.051 mm) 校准曲线。

热膜传感器在空气中的应用。0 - 300

ft/sec (0 - 91 m/sec)

图 2-1

如果校准曲线的  $E^2$  (电桥电压的平方) 是被对速度的平方根画出的, 那么其结果很接近直线关系, 并且只要两点就给出了  $\pm 5\%$  以内的精度。较好的精度是被较多点得到的——特别是在低速时。

当校准时, 记下 RUN 中的电桥电压, 1304 型电阻器的值, 流体温度和压力, 以及参考速度和方向。

在多敏感探针情况下的校准, 必须在单个敏感元件被正常运用到流动的情形去校准, 使得给。在下面的单个探针元件的讨论可以被扩展到包括多敏感元件探针一样适用。

因为一个园柱形传感器测量了园柱体法线方向的合成速度, 所以敏感元件的定向是很重要的, 以致于为了获得重复校准, 要使流动垂直于敏感元件。

在已线化风速计的情况下, 它只需要给出零流动和一个已知流速作为校准表头 (或 / 和) 输出的校准点。这样给出的精度和线化线路提供的一样好。为了最好的精度, 应该选取几个点, 并且最合适的校准曲线由中间以及末端各点产生。1054 A 与 B 风速计中线化器的更准确调整可以利用 1055 型调整卡片来进行。(为了同样的结果, 1117 型线化器卡片也可在 1055 型中使用)。当线化时, 给定型号的传感器, 造成校准中最小误差带。有时某一传感器可以落到这个范围外面, 并且结果将在规定给出的非线性度或位置的外面, 在那里 SPAN 控制器没有足够的范围。

### 2-3.3 质量流校准

在压力随着速度变化的地方校准曲线是  $PV$  的乘积 (也就是