



## 本手册的范围

本手册介绍了可适用于气体或液体的数字式质量流量计/压力计的通用操作，可为仪器各种操作给出参考性建议。  
更多信息参见其他文档。

多总线仪器各模块操作手册如下所示：

- **数字式质量流量计/压力计实验室样式/IN-FLOW 式通用操作手册（文档号：9.17.022）**
- 数字仪器操作手册（文档号：9.17.023）
- 现场总线/接口说明：
  - FLOW-BUS 接口（文档号：9.17.024）
  - PROFIBUS DP 接口（文档号：9.17.025）
  - DeviceNet 接口（文档号：9.17.026）
  - 支持 FLOW-BUS 协议的 RS232 接口（文档号：9.17.027）
  - Modbus 接口 ASCII/RTU/tCp（文档号：9.17.035）
  - EtherCAT 接口（文档号：9.17.063）
  - PROFINET 接口（文档号：9.17.095）
  - CANopen 接口（文档号：9.17.131）
  - EtherNet/IP 接口（文档号：9.17.132）
  - POWERLINK 接口（文档号：9.17.142）

本手册编制与出版期间，我司谨慎、严谨，尽管如此，我司仍不对于本手册存在的任何不准确、错误、不当陈述或任何其他性质错误承担法律或其他责任。本手册仅供参考，今后可能发生更改。如有更改，恕不另行通知。

## 保修条款

Bronkhorst 承诺，自产品交付之日起三年内，产品不存在任何材料和工艺缺陷，但前提是产品使用须符合相应产品参数，产品操作须符合手册相应操作说明，且不存在产品滥用、物理损坏或污染的情形。若产品在保修期内出现无法正常运转的情况，我司可提供免费维修或更换服务。通常情况下，可在一年内保修或原始保修期限剩余时间内保修，以较长的时间为准。

具体参见销售条件第 9 款。

保修范围为所有初始缺陷和潜在缺陷、随机故障和无法确定的内部原因。

因客户造成的各类故障与损坏，如污染、电气连接不当、物理撞击等，均无法提供保修服务。

若经过认定，返厂维修产品的相关维修项目部分或全部超出保修范围，则可能会收取相应维修费用。

除非事先另有约定，否则任何一方在保修范围内履行相应义务时，Bronkhorst High-Tech B.V. 均须预付运费。但若产品已退回至 Bronkhorst High-Tech B.V.，则该等费用应记入维修发票。进口和/或出口费用，以及国外运输时，须向承运商支付的各项费用由客户支付。

## 简易操作手册

安装质量流量计/控制器或压力计/控制器前，请务必阅读所附标签，并开展相应检查：

- 流量/压力率
- 待计量流体
- 上下游压力
- 输入/输出信号

检查红色标签，确保测试压力符合应用标准安全系数。

检查管道系统是否干净。为保证绝对清洁

，务必安装过滤器，确保气流清洁、干燥和不含油污。

在管线中安装仪表/控制器，并根据配件供应商相应说明紧固配件。根据手册相关说明，选择安装位置。

施加流体压力前，请检查系统是否存在泄漏

若系统含腐蚀性或反应性流体，使用前，请用惰性气体清洗。使用腐蚀性或反应性流体后，须先进行彻底清洗，随后方可让系统暴露在空气之中。

电气连接相关操作须遵守标准电缆相关规定或本手册后述电气连接图。

### 简易启动

启动仪器。

让仪表显示正确压力值

### !注意事项

若仪器无法达到预期性能，请联系 Bronkhorst High Tech B.V.或经销商，寻求帮助。

### 模拟操作

在 DB-9 连接器/8 DIN 连接器处，用 9 针电缆连接仪器和电源/读数单元

## 总线/数字操作

本程序：具体现场总线参见相应说明部分

向仪器施加设定值，检查测量值

仪器预热 30 分钟，确保仪器达到最佳精度

质量流量/压力计/控制器已就绪，可随时开始运行。

## !注意事项

现场总线各项操作，均可通过与主控板连接的扁平导体电缆进行。尽管通过 RS232 和仪器顶部的开关可实现所有功能，但切记，拆卸外壳上部时仍须格外小心。

## 安全预防措施

使用本产品以及任何相关仪器前，请务必遵守以下安全措施。

本产品的用户应具有合格资质，了解电击危险，熟悉避免可能伤害的相应安全防范要求。使用本产品前，请仔细阅读操作说明。

操作前，请确保电源线已连接正确接地的电源插座。每次使用前，均须检查连接电缆、测试引线、裂纹或断裂。

模块与附件须符合相应规格与操作要求，否则很可能会损害设备的安全性。

更换相同类型和额定值的保险丝（如需），避免火灾发生。

不得拆卸本仪器。仪器内没有可换修零件。若仪器存在任何缺陷，请将设备退回至 Bronkhorst High-Tech。

仪器上的  符号表示，用户操作时需遵守本手册相应操作说明。

 符号附近的仪器外壳温度可能较高。

为防止触电，避免火灾发生，请务必从 Bronkhorst High-Tech B.V. 处采购替换组件。若额定值及类型相同，也可使用符合适用国家安全认证的标准保险丝。其他不会对产品安全性产生影响的组件可从其他供应商处采购，但所采购组件须与原始组件具有相当属性。（注：为保证产品的准确性与功能性，所选零件只能从 Bronkhorst 处采购。）如有任何替换组件适用性问题，请致电 Bronkhorst® 办事处，了解相关信息。



## 目录

1	引言 .....	9
1.1	情况概述 .....	9
1.1.1	气体流量 .....	9
1.1.2	液体流量 .....	9
1.1.3	压力 .....	9
1.1.4	外体 .....	9
1.1.5	阀门 .....	11
1.2	传感器原理 .....	12
1.2.1	气体流量传感器（旁路测量） .....	12
1.2.2	气体流量传感器（直接质量流量测量，基于 CTA） .....	12
1.2.3	液体流量传感器 .....	12
	1) $\mu$ -FLOW 型号，流速可达 2g/h .....	12
	2) 基于 CTA 的 LIQUI-FLOW™ 系列 L10/L20 型号产品，流速可达约 1000g/h. ....	13
1.2.4	压力传感器 .....	13
1.3	阀门原理 .....	13
1.3.1	电磁阀 .....	13
1.3.2	Vary-P 阀 .....	13
1.3.3	先导阀 .....	14
1.3.4	波纹管阀 .....	14
1.4	Kv 值计算 .....	14
1.4.1	对于气体 .....	14
1.4.2	对于液体 .....	15
1.4.3	最大压降 .....	16
1.5	传感器和层流装置 .....	16
1.6	换算率 .....	18
1.6.1	气体换算系数（旁路测量） .....	18
1.6.2	气体换算系数（直接质量流量测量，基于 CTA） .....	19
1.6.3	液体换算系数 .....	20
1.6.4	换算系数计算软件 .....	20
2	设备安装 .....	21
2.1	设备接收 .....	21
2.2	返厂维修 .....	21
2.3	服务 .....	21
2.4	安装 .....	22
2.5	串联过滤器 .....	22
2.6	流体连接 .....	23
2.7	管道 .....	23
2.8	电气连接件 .....	23
2.8.1	断开电源 .....	24
2.9	注意事项 .....	24
2.10	供应压力 .....	24
2.11	系统清洗 .....	24
2.12	密封 .....	24

2.13	设备仓储.....	25
2.14	电磁兼容性.....	25
	2.14.1 符合电磁兼容性（EMC）要求相应条件.....	25
3	操作.....	27
3.1	一般规定.....	27
3.2	电源和预热.....	27
3.3	校零.....	27
3.4	启动.....	28
3.5	操作条件.....	28
3.6	仪表性能.....	28
	3.6.1 传感器.....	28
	3.6.2 控制器.....	28
3.7	手工操作.....	29
3.8	模拟操作.....	29
3.9	总线/数字操作.....	30
4	维护.....	31
4.1	一般规定.....	31
4.2	气体流量传感器.....	31
4.3	液体流量传感器.....	31
4.4	压力传感器.....	31
4.5	控制器.....	31
4.6	控制阀.....	31
	4.6.1 电磁阀.....	31
	4.6.2 Vary-P 阀.....	32
	4.6.3 先导阀.....	32
	4.6.4 波纹管阀.....	32
4.7	标定程序.....	32
4.8	清洁.....	32
5	数字仪表.....	33
6	接口说明.....	34
7	故障排除.....	35
	7.1 一般规定.....	35
	7.2 故障排除常见情况.....	36

**附录**

- 1 气体换算表
- 2 附件（如适用）

## 1 引言

### 1.1 情况概述

#### 1.1.1 气体流量

Bronkhorst®系列气体质量流量计精度很高，可根据阀体额定值测量高达 700bar 的气体流量，几乎不受压力和温度变化的影响。

系统配有控制阀和读数非常灵敏的读数器，可根据仪器具体类型，测量与控制从 1ml<sub>n</sub>/min 到数千标准立方/小时的气体流量。

在有限流量范围内，金属密封型号可用。

#### 1.1.2 液体流量

Bronkhorst®系列液体质量流量计精度很高，可根据阀体额定值测量高达 400bar 的液体流量，几乎不受压力和温度变化的影响。系统配有控制阀，可测量与控制从 2g/h 至 1000g/h 的液体流量。

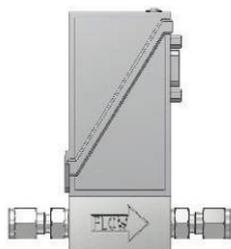
#### 1.1.3 压力

Bronkhorst®压力计可测量的压力范围为：100mbar - 400bar，具体情形取决于具体的阀体额定值，无论是绝对压力还是表压，其压差范围为 0-15bar。压力控制器具有非常高的压力控制精度和可重复性。控制器分为前压控制（P-600 系列）、背压控制（P-700 系列）和过程压力控制（P-800 系列）三种。上下游压力、阀门的孔直径和流体种类决定了通过压力控制器的流量大小。

#### 1.1.4 外体

为符合电设备电磁兼容性规范，每种仪器的外体样式均涉及多项规定。

### EL-FLOW®, EL-PRESS



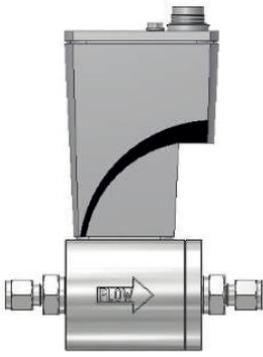
电路板装在金属镀层塑料盖内。仪器电气连接可通过一个可进行模拟/RS232 操作的公头 9 针微型 sub-D 连接器进行。仪器数字操作可通过仪器顶部的各种连接器进行。这些仪器适用于实验室等干燥（室内）环境，且仪器外体须保护良好（OEM）。

### EL-FLOW®, EL-PRESS 金属密封件



该系列仪器外体与标准 EL-FLOW®、EL-PRESS 系列相同，特点是该系列采用金属-金属密封圈。

## IN-FLOW, IN-PRESS



为符合 IP65 防护等级标准，电路板应装在密封的铸造金属外壳内。仪器电气连接可通过一个可进行模拟/RS232 操作的公头 8 DIN 连接器进行，仪器数字操作可通过仪器顶部各种连接器进行。这些仪器适用于 IP65 防护等级的轻工业（户外）环境。

## LIQUI-FLOW

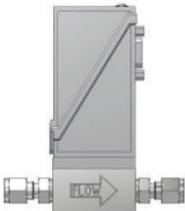
数字式液体流量计可分为两种：

### μ-FLOW 型号



μ-FLOW 型号流量可达 2g/h，相当于一个直的带传感器的毛细管。仪器电气连接可通过一个公头 9 针微型 sub-D 连接器进行。这些仪器适用于实验室等干燥（室内）环境。

### 基于 CTA 的 LIQUI-FLOW™ 系列 L10/L20



基于 CTA 的 LIQUI-FLOW™ 系列 L10/L20 型号产品，流速可达约 1000g/h。仪器电气连接可通过一个公头 9 针微型 sub-D 连接器进行。这些仪器适用于实验室等干燥（室内）环境。



为符合 IP65 防护等级标准，电路板应装在密封的铸造金属外壳内。仪器电气连接可通过一个可进行模拟/RS232 操作的公头 8 DIN 连接器进行，仪器数字操作可通过仪器顶部各种连接器进行。这些仪器适用于 IP65 防护等级的轻工业（户外）环境。

### 1.1.5 阀门

#### 实验室样式



对于气体:

阀门螺线管可提供 IP50 防护等级防护。这意味着阀门适用于干燥（室内）环境。



对于液体:

阀门螺线管可提供 IP50 防护等级防护。这意味着阀门适用于干燥（室内）环境。  
阀门配备一个清洗连接器。

#### 工业样式



对于气体:

阀门螺线管可提供 IP65 防护等级防护。这意味着它们适用于轻工业（户外）环境。



对于液体:

阀门螺线管可提供 IP65 防护等级防护。这意味着它们适用于轻工业（户外）环境。  
阀门配备一个清洗连接器。

## 1.2 传感器原理

### 1.2.1 气体流量传感器（旁路测量）

多数气体流量传感器根据旁路测量原理测量。这些仪器根据传热原理工作，感测毛细管受热部分的 $\delta T$  值。总流量中一部分会通过主流层流装置，被迫通过毛细管，产生 $\delta p$  值。

由于层流装置设计独特，毛细管和层流装置流动条件相当，通过流量计的流速存在比例关系。毛细管上下游的温度传感器感测的 $\delta T$  值取决于气流吸收的热量。

气体质量流量与信号间的传递函数关系可通过如下函数表示：

$V_{\text{信号}}$  = 输出信号  
 $c_p$  = 比热  
 $K$  = 常数因子  
 $\Phi_m$  = 质量流量

$$V_{\text{信号}} = K \cdot c_p \cdot \Phi_m$$

温度传感器是桥式电路的一部分，会将不平衡线性化后放大到所需信号水平。

### 1.2.2 气体流量传感器（直接质量流量测量，基于 CTA）

IN-FLOW CTA 型号的工作原理为基于热传递原理的直接式质量流量测量法。直通流量传感器由一个加热电阻和一个温度传感电阻组成。两个电阻均为热敏电阻，外覆不锈钢套管。将加热电阻和传感电阻的温差保持在恒定水平，所需加热功率和质量流量存在比例关系。针对各流量值，形成一一对应的加热器电流。该测量原理也叫恒温风速法（CTA）。

质量流量与输出信号间的传递函数关系可通过如下函数表示：

$$S_{\text{signal}} \cong S_0 + K \cdot \Phi_m^n$$

$S_{\text{信号}}$  = 输出信号

$S_0$  = 偏移（零流量）信号

$K$  = 常数因子（包括： $\lambda$ -热导率、 $c_p$ -比热、 $\mu$ -动态粘度和 $\rho$ -气体密度）

$\Phi_m$  = 质量流量

$n$  = 无量纲常数（通常为 0.5 阶）

### 1.2.3 液体流量传感器

数字式液体流量测量方式可分为两种，传感器布置方式也有两种。共同点在于均不涉及旁路系统，属于“直通流量”类型。传感器布置方式可分为以下几种：

1)  $\mu$ -FLOW 型号，流速可达 2g/h。

该型号基本相当于一个有两个传感元件的毛细管。这两个元件既可用于加热，也可用于感测温度。毛细管上下游的温度传感器感测的 $\delta T$  值取决于液体质量吸收的热量。温度传感器是桥式电路的一部分，会将不平衡放大到所需信号水平。液体质量流量与信号间的传递函数关系可通过如下函数表示：

$V_{\text{信号}}$  = 输出信号  
 $c_p$  = 比热  
 $K$  = 常数因子  
 $\Phi_m$  = 质量流量

$$V_{\text{信号}} = K \cdot c_p \cdot \Phi_m$$

2) 基于 CTA 的 LIQUI-FLOW™系列 L10/L20 型号产品，流速可达约 1000g/h。

基于 CTA 的 LIQUI-FLOW™系列 L10/L20 型号产品基本由一个小的毛细管组成，管上装有两个传感元件。上游传感元件是一个温度传感器，可测量流经管件的液体温度。下游传感元件是一个加热器，可将管内液体加热至中等温度以上的特定温度  $\delta T$ 。已向有关部门提交流量传感器设计专利申请。

将  $\Delta T$  保持在恒定水平，所需加热器功率和质量流量有关。流量为零时，所需加热功率保持恒定，且非常小。流经管件的质量流量不为零时，加热器会被冷却。因此须增加加热功率，以便维持流量变化后的温差。因此，针对各流量值，得出一一对应的加热器功率。

该测量原理也叫恒温风速法（CTA）。

加热器和热敏元件按惠斯通电桥配置进行电气连接，惠斯通电桥配置具有两项功能：其一是为加热器提供必要的加热器功率，其二是进行温度补偿。最后通过信号整流电路，输出线性输出信号。液体质量流量与线性输出信号间的传递函数关系可通过如下函数表示：

$V_{\text{信号}} = \text{输出信号}$

$K = \text{校准常数}$

$c_p = \text{比热}$

$\lambda = \text{热传导系数}$

$\Phi_m = \text{质量流量}$

$$V_{\text{signal}} \cong K \cdot c_p \cdot \lambda^2 \cdot \Phi_m$$

### 1.2.4 压力传感器

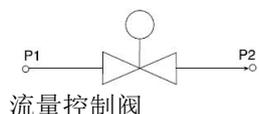
EL-PRESS/IN-PRESS 压力传感器是由硅晶表面的压阻电桥构成的。传感器安装在不锈钢结构中，通过金属薄膜和流体分开。传感器周围腔室被油充满，可将流体压力耦合至传感器。

## 1.3 阀门原理

控制阀的设计的目的并非是进行正向截流，尽管部分型号具有非常好的正向截留作用。

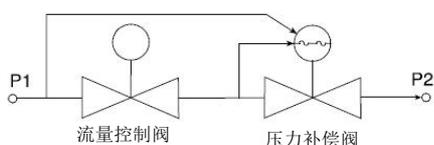
建议为管线加装一个单独的关断阀（如需）。此外，还须避免系统在加压过程中出现压力波动。可分为以下几种型号：

### 1.3.1 电磁阀



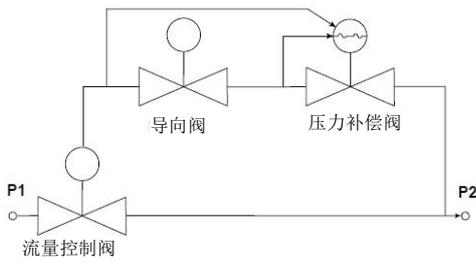
流量控制阀是通常认为的标准（直接操作）控制阀。一般情况下，流量控制阀为一个常闭电磁阀。阀塞会在线圈磁场力的作用下提升。阀塞下方孔板为可拆卸式孔板，可用于更改孔直径。当然也有常开电磁阀。

### 1.3.2 Vary-P 阀



鉴于上下游压力变化较大，因此设计了一种特殊阀门，即 VARY-P 阀。这种阀由两个阀门组成，一个电磁控制阀和一个固定调节压力补偿阀。

### 1.3.3 先导阀



针对高流速应用场景，设计了先导阀。螺线管驱动控制阀可控制活塞压差，通过调整压差，可提升主柱塞。

### 1.3.4 波纹管阀

这是一种直接驱动的、低功率的电磁控制阀。这种阀门设计独特，采用金属波纹管，可实现较大孔板开口的控制。该设计适用于低压或真空应用环境。

#### 1.4 $K_v$ 值计算

这种计算方法可用于确定控制阀主孔板处的  $K_v$  值。

##### 1.4.1 对于气体

确定阀门所需  $\Delta p$ 。

$\Delta p$  至少须为供应压力的 20%，或在闭环系统中为回路总压差的 20%。

若  $\Delta p$  为供应压力的 20-50%，则使用公式：

$$K_v = \frac{\Phi_{vn}}{514} \sqrt{\frac{\rho_n \cdot T}{\Delta p \cdot p_2}} \quad \text{次临界}$$

若  $\Delta p$  为供应压力的 50-100%，则使用公式：

$$K_v = \frac{\Phi_{vn}}{257 \cdot p_1} \sqrt{\rho_n \cdot T} \quad \text{超临界}$$

单位：

$\Phi_{vn}$ =流量[m<sup>3</sup>/h]

$P_1$ =供应压力[bar]

$P_2$ =下游压力[bar]

$\Delta p$ =压差 ( $p_1-p_2$ ) [bar]

T=温度[K]

$\rho_n$ =密度[kg/mn<sup>3</sup>]

$$d = 7.6 \sqrt{K_v} \text{ [mm]}$$

可通过以下方式确定孔板口直径：

**Bronkhorst®**

1.4.2 对于液体

这种计算方法可用于确定控制阀主孔板处的  $K_v$  值。

$$K_v = \Phi_v \sqrt{\frac{\rho}{\Delta p \cdot 1000}}$$

单位:

$\Phi_v$  = 体积流量[m<sup>3</sup>/h]

$\rho$  = 20°C, 1 atm 下的密度[千克/立方]

$\Delta p = \delta p$ [bar]

可通过以下方式确定孔板开口直径:

$$d = 7.6 \sqrt{K_v} \text{ [mm]}$$

LFC 只有一种常闭阀可用。孔口直径可计算得出或在表格中查找。

直径[mm]	$K_v$	常闭 $\Delta p$ 最大值[bar]
0,10	$1.73 \times 10^{-4}$	10
0,14	$3.39 \times 10^{-4}$	10
0,20	$6.93 \times 10^{-4}$	10
0,30	$1.56 \times 10^{-3}$	10
0,37	$2.37 \times 10^{-3}$	10
0,50	$4.33 \times 10^{-3}$	10
0,70	$8.48 \times 10^{-3}$	10
1,00	$1.73 \times 10^{-2}$	10

\* 动态粘度为  $15 \text{ cP} < \mu < 100 \text{ cP}$  的液体应根据以下公式计算  $K_v$  值:

$$K_v = \Phi_v \sqrt{\frac{\rho}{\Delta p \cdot 1000}} \cdot \sqrt{\mu}$$

单位:

$\Phi_v$  = 体积流量[m<sup>3</sup>/h]

$\rho$  = 20°C, 1 atm 下的密度[千克/立方]

$\Delta p = \delta p$ [bar]

$\mu$ =动态粘度[cp]

最大可能粘度适用于工厂环境

### 1.4.3 最大压降

对于带小孔的（先导）电磁控制阀，气体最大容许压降见下表。

直径[mm]	Kv	常闭 $\Delta p$ 最大值[bar]	常开 $\Delta p$ 最大值[bar]
0,05	$4.33 \times 10^{-5}$	40	30
0,07	$8.48 \times 10^{-5}$	30	20
0,10	$1.73 \times 10^{-4}$	30	20
0,14	$3.39 \times 10^{-4}$	30	20
0,20	$6.93 \times 10^{-4}$	30	20
0,30	$1.56 \times 10^{-3}$	30	20
0,37	$2.37 \times 10^{-3}$	30	20
0,50	$4.33 \times 10^{-3}$	30	20
0,70	$8.48 \times 10^{-3}$	24	15
1,00	$1.73 \times 10^{-2}$	12	8
1,30	$2.93 \times 10^{-2}$	8	5
1,50	$3.90 \times 10^{-2}$	6	不适用
1,70	$5.00 \times 10^{-2}$	5	不适用
2,00	$6.63 \times 10^{-2}$	3,6	不适用

先导阀最大压降不超过 20bar。若启动时压降较大，最好加装旁通阀。启动期间，该阀应为打开状态。当然，也要限制最小压降。如需准确数据，请咨询工厂，或根据销售办事处或部门提供的技术数据和/或附加说明操作。

### 1.5 传感器和层流装置

通过流量装置确定流经气体流量计或控制器的总流量。

注：液体流量传感器、基于 CTA 的传感器以及压力传感器均无需流量装置。应用场景不同，流量传感器所采用的可拆卸式毛细管也有所不同，需安装的层流装置也有所不同。

此外，若流速大于 1250 标准升/分钟，主层流装置应和毛细管/流量装置布置结合使用，以便补偿主流量装置的非理想传递函数。

通常情况下，3 类毛细管可用：

- 小口径（C 型）

这类传感器的注意事项如下：

- 这些传感器压降约为 35mbar
- 层流装置由一系列带精密蚀刻流道的圆盘组成。

在 35mbar， $\delta P$  条件下，各流道气流流量约为 10ml<sub>n</sub>/min。

- 对于所有压力比压力额定值大 100bar 以上（M 型）的仪器，传感器均装有金属密封件。
- 低压情况下，装有这些传感器的仪器可水平安装，也可垂直安装。高压（>10bar）情况下，仪器应水平安装。
- EL-FLOW、EL-PRESS 金属密封系列产品配备金属密封传感器。

- 大口径（D 型）

这类传感器的注意事项如下：

- 这些传感器最好用在反应性气体和低压应用场景。
- 压降小于 0.5mbar。
- 层流装置和主通道共同组成环形通道。环形通道尺寸也决定了仪器流量。
- 仪器须始终水平安装。
- 中口径（E 型）

该传感器常用于“EL-FLOW 系列”，并用于增加“低 $\delta P$  系列”流量量程。这类传感器的注意事项和 D 型相同：

- 压降约为 2.5mbar。

## 1.6 换算率

### 1.6.1 气体换算系数（旁路测量）

确定信号与质量流量间关系的一般公式为：

$$V_{\text{信号}} = K \cdot c_p \cdot \Phi_m = K \cdot c_p \cdot \rho \cdot \Phi_v$$

其中：

$V_{\text{信号}}$	= 输出信号
$K$	= 常数
$\rho$	= 密度
$c_p$	= 比热
$\Phi_m$	= 质量流量
$\Phi_v$	= 体积流量

待计量气体的  $c_p$  值和密度发生任何变化，均须对信号进行校正。换算系数  $C$  为：

$$C = \frac{c_{p1} \cdot \rho_1}{c_{p2} \cdot \rho_2}$$

其中：

$c_p$  = 比热

$\rho_n$  = 基准条件下的密度

(1) 气体校准

(2) 待测气体

**注：**

计算换算系数所需  $c_p$  值，其取值温度须比所要求的温度高出 50°C。

这个系数也叫  $c_p$ ，单位：卡。

$N_2$  相关常用气体在基准情况下的换算系数参见附录 1 气体换算表。

**示例：**

$N_2$  仪表校准（200ml<sub>n</sub>/min）。

通过仪表的气流为  $CO_2$ 。

输出信号读数为 80.0%。

$$80.0 \cdot \frac{0.74}{1.00} = 59.2\%$$

$CO_2$  实际流量 =

$$\frac{59.2}{100} \cdot 200$$

因此，= 118.4ml<sub>n</sub>/min

**\*n 表示基准条件**

基准条件下，需将体积换算成温度为 0°C，压力为 1 atm 或 1013.25mbar 下的体积值。（760 托）

**注：**

在操作条件下校准，通常可获得最佳精度。如果无法在操作条件下校准，或在操作条件下校准不可行，则可通过理论换算系数来确定气体流经仪器的流速，但该方法会导致精确度下降。

换算系数近似精确度为：

换算系数典型值：>1 2% x 系数

**<1 2%/系数**

但由于该系数的准确性同时也和粘度、压力和温度有关，因此应特别注意，气/液状态下的气体，其比热、密度和粘度变化很大。向工厂申请，要求更多详细信息。

对于气体混合物，可采用以下简化方程：

$$\frac{1}{C_{mix}} = \frac{V_1}{C_1} + \frac{V_2}{C_2} + \dots + \frac{V_n}{C_n}$$

$C_{混}$ =气体混合物换算系数

$C_n$ =气体 n 换算系数

$V_n$ =混合物中气体 n 的体积分数

**示例气体混合物包含：**

- (1) 10% N<sub>2</sub>      C1=1.00
- (2) 30% Ar        C2=1.40
- (3) 50% 甲烷    C3=0.76
- (4) 10% 氦气    C4=1.41

$$\frac{1}{C_{mix}} = \frac{0,10}{1,00} + \frac{0,30}{1,40} + \frac{0,50}{0,76} + \frac{0,10}{1,41} = 1,043$$

$C_{混}$ =0.959

当原始仪表以 500ml<sub>n</sub>/min N<sub>2</sub> 校准时，100%表示：

$$500 \cdot \frac{0,959}{1,00} = 480 \text{ml}_n/\text{min 混合物。}$$

当原始仪表以 500ml<sub>n</sub>/min 氦气校准时，100%表示：

$$500 \cdot \frac{0,959}{1,40} = 343 \text{ml}_n/\text{min 气体混合物。}$$

**1.6.2 气体换算系数（直接质量流量测量，基于 CTA）**

对于基于 CTA 的气体流量传感器，信号与质量流量间的一般关系为：

$$S_{signal} \cong S_0 + K \cdot \Phi_m^n$$

其中：

$S_{信号}$ =输出信号

$S_0$ =偏移（零流量）信号

$K$ =常数因子（包括： $\lambda$ -热导率、 $C_p$ -比热、 $\mu$ -动态粘度和 $\rho$ -气体密度）

$\Phi_m$ =质量流量

$n$ =无量纲常数（通常为 0.5 阶）

由于存在偏移信号（也取决于液体特性）以及信号与质量流量间呈非线性关系，因此对于特定液体而言，无法得出可涵盖仪器整个流量范围的单一换算系数。但对于大多数常见气体而言，目前已有有一个复杂的，基于部分经验的换算模型，在较低和较高的流量范围内，该模型均可准确换算。如需申请获取该模型，请咨询 Bronkhorst。

在每台仪器额定流量范围内，均可采用 FLUIDAT 软件自带“CFDirect”换算方法所计算的近似值。

最佳换算系数相关信息，请咨询 FLUIDAT。

### 1.6.3 液体换算系数

#### 1) μ-FLOW 型号

确定信号与质量流量读数间关系的一般公式为：

其中：

- V<sub>信号</sub> = 输出信号
- k = 校准常数
- c<sub>p</sub> = 恒压条件下的流体热容
- Φ<sub>m</sub> = 质量流量

$$V_{\text{信号}} = k \cdot c_p \cdot \Phi_m$$

若不采用校准液体校准液体流量计，则须通过换算系数换算。该换算系数为：其中：

- c<sub>p1</sub> = 校准液热容
- c<sub>p2</sub> = 新液体热容

$$\Phi_{m2} = C_f \cdot \Phi_{m1}$$

$$C_f = \frac{c_{p1}}{c_{p2}}$$

如需了解更多该公式的应用信息，请咨询 Bronkhorst High-Tech BV.。

#### 2) 基于 CTA 的 LIQUI-FLOW 系列 L10/L20

对于基于 CTA 的 LIQUI-FLOW 系列 L10/L20 型号液体质量流量传感器而言，液体质量流量与线性输出信号间的传递函数可通过如下函数表示：

$$V_{\text{信号}} \cong K \cdot c_p \cdot \lambda^2 \cdot \Phi_m$$

V<sub>信号</sub> = 输出信号

K = 校准常数

C<sub>p</sub> = 比热

λ = 热传导系数

Φ<sub>m</sub> = 质量流量

若不用校准液体（参考液体）校准，而是采用其他液体（定制液体）校准液体流量计，则须通过换算系数换算。换算系数 CF 可通过以下公式来粗略计算：

$$CF \cong \frac{(c_p \lambda^2)_{\text{参考流体}}}{(c_p \lambda^2)_{\text{定制流体}}}$$

如需了解更多该等式的应用信息，请咨询 Bronkhorst High-Tech BV.。

### 1.6.4 换算系数计算软件

Bronkhorst®通过®FLUIDAT 数据库收集了 600 多种流体的物理性质。用户通过 Net (FOTN) 的 FLUIDAT®等应用软件，不但可精确计算 20°C/1 atm 下的换算系数（见附录 1，换算表），还可计算出任何温度/压力组合下的换算系数。

向经销商申请，要求提供更多与该软件相关的详细信息。

## 2 设备安装

### 2.1 设备接收

检查外包装，确定运输期间是否造成损坏。若外包装受损，请立即通知当地承运人承担相应责任（如需）。同时将报告提交给：

BRONKHORST HIGH-TECH B.V.  
RUURLO HOLLAND

请联系您的经销商（如适用）。

取出装箱单；慢慢从包装盒取出设备。

请妥善保存相应备件或替换零件，丢弃包材时，请务必仔细检查，确认包材中未混有任何受损或遗漏零件。

### 2.2 返厂维修

退回时，请务必随附一份故障单，说明设备当前问题，并列明所需维修事项（如有可能）。

**若仪器曾用于计量有毒或危险流体，请务必告知工厂！**

这样，工厂就可采取相应防护措施，确保维修部员工安全维修。请妥善包装需退回设备，如有可能，请将设备置于原包装内退回；对仪器进行塑封处理等。

**请务必完整填写“故障单”，并随设备一并退回。如未提供该声明，退回设备一律不予接收。**

**注：**

若设备曾和有毒或危险流体一起使用，退回前，请对仪器进行清洗。

**重要事项：**

请在包装上方清晰注明 Bronkhorst High-Tech B.V.客户报关编号，即：

NL801989978B01

也可联系经销商，安排本地维修（如适用）。

### 2.3 服务

若维修不当，很可能造成严重的人身伤害和/或设备损坏。因此，须由接受专业培训的合格维修人员进行维修。Bronkhorst®服务团队均接受了严格的维修培训。

## 2.4 安装

安装位置取决于仪器类型。流量计首选水平安装，且高压应用场景下，所有流量计均须水平安装。请勿将设备安装在机械振动和/或热源附近。

根据适用尺寸图说明，通过仪器底部的螺纹装配孔固定仪器。安装设备所用的不锈钢螺栓，强度等级不得低于 70（不包括 70）。推荐扭矩值如下表所示。

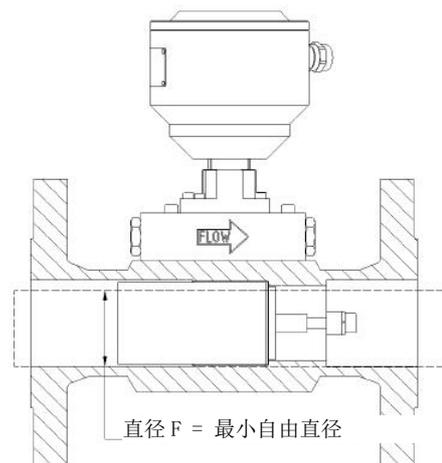
强度等级为 70 的不锈钢螺栓推荐扭矩（单位：Nm）						
螺栓尺寸	M4	M5	M6	M8	M10	M12
扭矩 [Nm]	2.0	4.1	7.0	17.0	33.0	57.0

安装 F-106/F-107 系列产品时，请遵守以下规则：

### 直管长度要求（直径组数目 F）

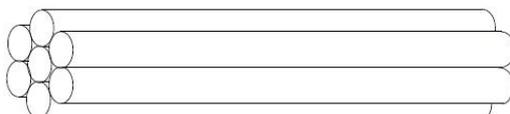
	上游	下游
仪表前一个 90°弯折	10	4
仪表前两个 90°弯折	13	4
两个平面两个 90°弯折	20	4
三个平面三个 90°弯折	30	4
表前减小	10	4
表前增大	20	4
减压阀/控制阀/仪表前半闭式阀	30	4

更多信息参见尺寸图。



一般来说，整流器可能会对流量计的自由长度产生影响。

整流器结构可以理解成套管内的一束平行管。



通常情况下，这些整流器须安装在流量计上游至少  $6\alpha 8D$  处。

通常情况下，若控制阀和曲线水位不相等，则应使用整流器。

除自由长度规定外，流量须保持稳定，不存在冲击和脉动情形。

## 2.5 串联过滤器

尽管待测流体应绝对无尘、无油、干燥且无其他颗粒物，但仍推荐在流量计/控制器上游安装一个串联过滤器，若可能发生回流，也建议在下游安装一个过滤器。请注意，安装过滤器可能导致压降。

在部分仪器的入口处安装滤网，避免异物进入仪器，确保流体可通畅流动。**不得**将该设备视为过滤元件。

如需了解更多信息，请联系经销商。

## 2.6 流体连接

Bronkhorst® 计量器/控制器采用了压缩密封接头或面密封接头。大多数仪器的接头均采用 BSP 平行螺纹接头，和弹性 O 型密封圈结合使用，实现仪器的密封连接。对于部分仪器而言，这些接头须直接焊接到机体上。进行压缩式接头的密封安装时，确保卡套管顶在接头本体肩部，且卡套管、套圈或配件上没有任何污垢或灰尘。用手拧紧螺母；然后握住仪器，将螺母再多拧 1 圈。请根据接头供应商要求操作（如适用）。

也可根据特定要求，提供特殊类型接头。

法兰也须配合良好，不得将密封件带入卡套管内。

**\*注：**施加流体压力前，请检查系统是否存在泄漏。尤其是在使用有毒、爆炸性或其他危险性流体的情况下，更应进行相应检查。

## 2.7 管道

### 确保管道绝对干净！

高流率情况下，**请勿**采用小直径管道，因为产生的入口射流会影响仪器精度。

**请勿**直接在入口和出口处安装大角度管道，特别是在高流率情况下。我们建议，大角度管道安装位置至少与仪器间保持 10 倍管径的长度。

**请勿**直接在气体流量计/控制器入口处安装压力调节器，应留出一些管道长度（至少 25 D）。高流率情况下使用流量控制器时须尤为注意。上下游均须安装一个缓冲器，其容积可根据以下公式计算：

$$V \geq \frac{0,15 d^2}{\sqrt{\rho}}$$

其中：

V = 容积（单位：l）

d = 孔口直径（单位：mm）

$\rho$  = 标准条件下的密度

$$d = 7.6 \sqrt{k_v}$$

**示例：**

流量控制器在 500 标准升/分钟气体，孔口直径  $d=4$  mm，稳定控制所需缓冲容积为： $V \geq 0.15 \cdot 4^2 \cdot \sqrt{129} = 2.1$  升

此外，压力控制器容积至少应为流量控制器的两倍，因此应为： $2 \cdot 500 = 1000$  标准升/分钟。

## 2.8 电气连接件

安装建议：为避免极性颠倒造成仪器损坏，Bronkhorst® 建议 direct+Us 线路均采用 2 安保险丝。

电气连接须采用标准电缆连接，或根据适用的连接图连接。连接工厂安装的 8 DIN，以及可选的 M12 连接器时，应严格按照仪器连接图上的标注操作。确保电源与仪表标签标明的额定功率保持一致，且电源线应采用双层或加强绝缘电缆。

如需查阅 IN-FLOW 适用连接图，请访问：<http://www.bronkhorst.com/en/downloadsIN-FLOW> 仪器采用 +15...+24Vdc 源供电。

请勿同时用两个不同电源（如总线连接和插入式电源（PiPS））为仪器供电。这样会导致电路板保险丝熔断，需返厂维修。

为符合 IP 类别，须严格按照连接器制造商提供的组装指南操作。为了将 8 DIN/M12 电缆连接器紧固到设备连接器上，拧紧螺纹环，直至达到“手指紧固”状态（约 50 cNm）。

仪器含有易受静电损坏的电子元件。安装、拆卸与连接电子设备期间，请遵守恰当的处理流程。

本手册所述仪器贴有 CE 标志，符合电磁兼容性（EMC）要求。但若未采用合适的电缆和连接器/压盖组件，很可能无法达到电磁兼容性（EMC）要求。

Bronkhorst 建议采用原厂标准电缆。原厂标准电缆配有正确的连接器，且即使出现端部松线情形，相应标记也可避免错误连接情况发生。使用其他电缆时，电缆直径应可承载电源电流，电压损耗越低越好。如有任何疑问，请联系经销商。系统连接其他设备（如 PLC）时，应确保屏蔽完整性不受影响。请勿使用非屏蔽电线端子。

### 2.8.1 断开电源

Bronkhorst 建议为端应用安装一个断路器或开关。

## 2.9 注意事项

**所有仪表/控制器均须进行压力测试，测试压力至少应为客户要求工艺条件下工作压力的 1.5 倍，最小压力为 8bar。**

对于压力计/控制器。测试压力由压力传感器的范围决定。

通常，范围为 1-2 bar 时，为 2 x F.S.数值

范围 >200bar 时，为 1.5 x F.S.数值

范围 400bar 时，为 1.25 x F.S.数值

流量计/控制器上已用红色标签标明测试压力。在管线中安装前，检查测试压力。

若标签不可用或测试压力不正确，不得在工艺线路中安装仪器，应返厂维修。

所有仪器均须进行氦泄漏测试，氦含量至少为 2-10-9mbar·升/秒。

## 2.10 供应压力

电气连接完成前，不得加压。系统加压时，应注意避免系统压力冲击，应逐渐增加压力，尤其是装有活塞控制阀的高压装置。

对于 10bar 以上仪器：

根据 NACE TM0297 相关规定，Bronkhorst 推荐的最大减压速率为 70bar/分钟。若大于该速率，密封材料寿命会相应缩短。

## 2.11 系统清洗

如需使用爆炸性气体，请用氮气、氩气等惰性干燥气体至少清洗 30 分钟。

若系统含有腐蚀性或反应性流体，务必用惰性气体进行清洗，否则通入的流体会与氧气或潮湿空气产生化学反应，导致系统堵塞或腐蚀。

将系统暴露在空气中前，还需进行完全清洗，清除系统中的残留流体。使用腐蚀性流体时，最好不要将系统暴露在空气中。

## 2.12 密封

Bronkhorst 从诸多可靠信息源收集了大量数据，编制了一份材料兼容表。但该表也只可作为一个通用指南。操作条件不同，本指南的准确性也会相应受到影响。因此，Bronkhorst 不对任何人士因使用本指南所造成的损害承担责任。

为获得最佳可靠性，客户应用期间也需配置自己的具体设计和测试评估。因此务必检查毛细管的 O 型密封圈、柱塞以及填料压盖等密封件是否适合工艺要求。

### 2.13 设备仓储

设备应装在原包装内，储存在橱柜式仓库或类似仓库内。注意！不得将设备储存在温度过高或过低的环境中。

### 2.14 电磁兼容性

#### 2.14.1 符合电磁兼容性（EMC）要求相应条件

本手册所列所有仪器均贴有 CE 标志。

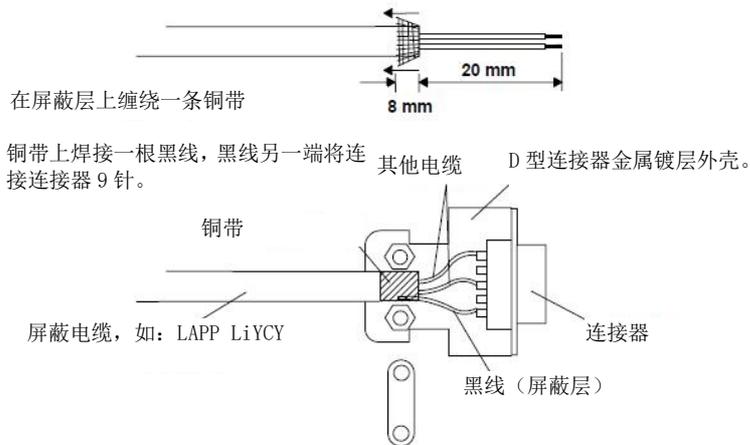
因此，须符合这些仪器适用的电磁兼容性（EMC）要求。

但若未采用合适的电缆和连接器/压盖组件，很可能无法达到电磁兼容性（EMC）要求。

为达到最佳效果，建议选购 Bronkhorst® 标准电缆。否则，请遵循以下指南。

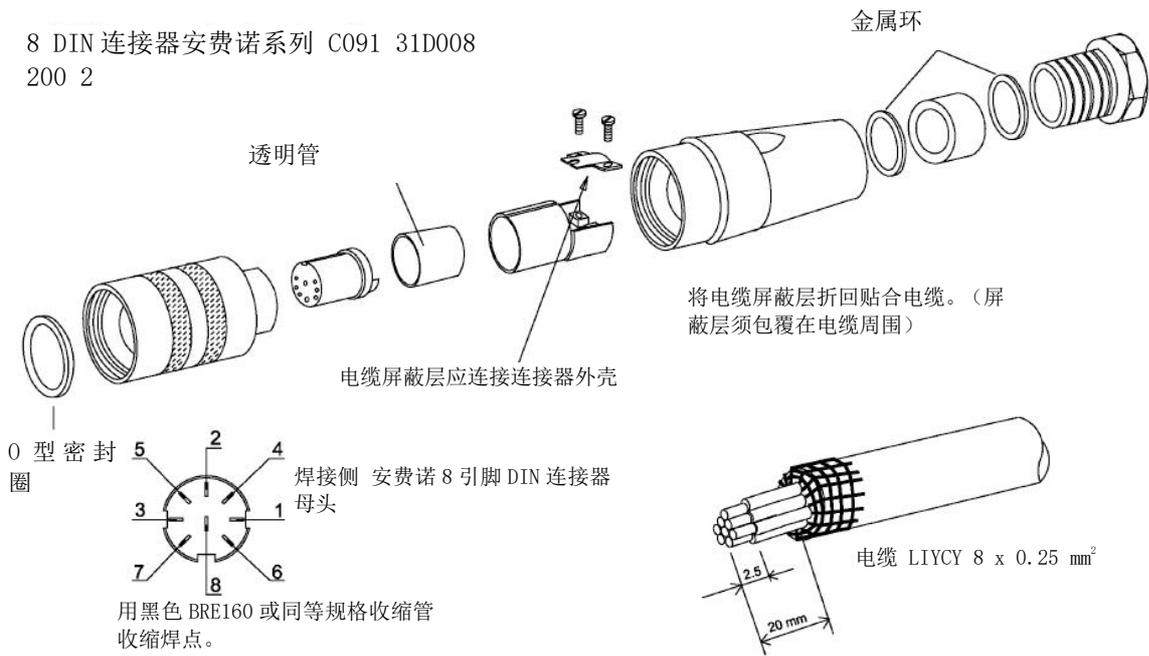
#### D 型插接件

将电缆屏蔽层折回贴合电缆（屏蔽层须包覆在电缆周围）。  
 Fold the shield of the cable back over the cable (the shield must be around the cable).

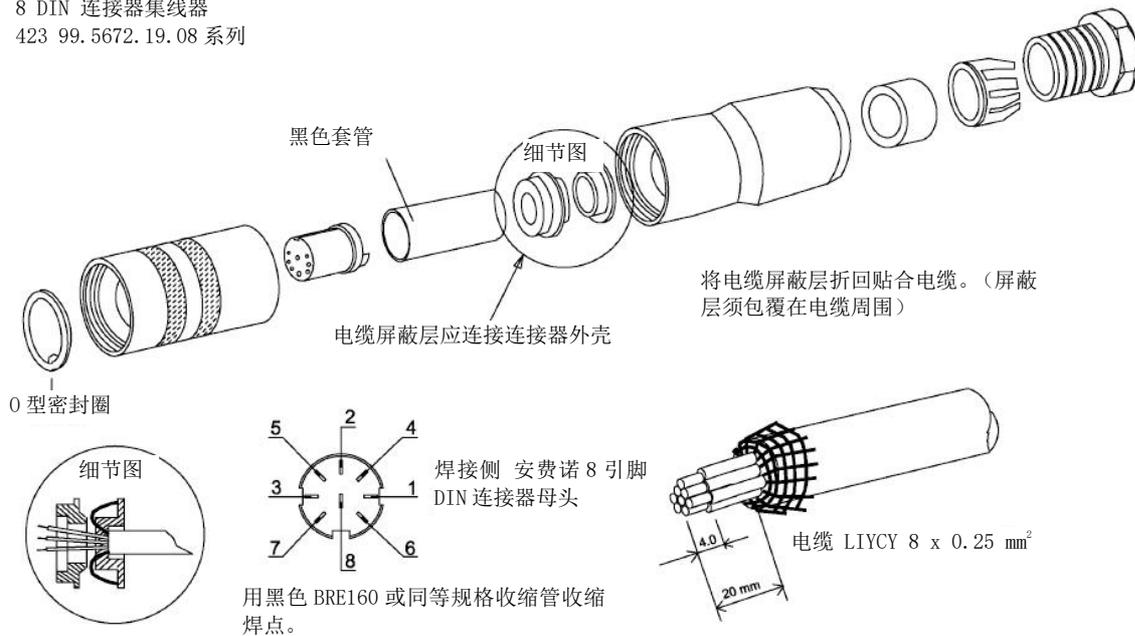


## 8 DIN 插接件

8 DIN 连接器安费诺系列 C091 31D008  
200 2



8 DIN 连接器集线器  
423 99.5672.19.08 系列



### 注意事项:

1. 系统连接其他设备（如 PLC）时，应确保屏蔽完整性不受影响。请勿使用非屏蔽电线端子。
2. 对于 FLOW-BUS S(F)TP 数据（接线）电缆和 RJ45 连接器间的电气连接，请严格按照供应商要求操作。务必用屏蔽双绞线电缆和屏蔽 RJ45 模块化插孔连接器连接。
3. 对于 PROFIBUS DP 或 DeviceNet 数据电缆连接而言，应按照电缆供应商给出的现场总线系统相关要求操作。

## 3 操作

### 3.1 一般规定

Bronkhorst®

Bronkhorst®仪器各种设计旨在最大化地满足用户的工艺要求。

基本所有数字仪表/控制器都采用+15 至+24 Vdc 源供电。

若选用其他电源，请确保该电源的电压及电流额定值和仪器标签标明的额定值保持一致。电源须采用双重绝缘或加强绝缘设计。

若选用其他电源，请确保该电源的电压及电流额定值和仪器规格保持一致，此外，该电源还应能为仪器提供充足电能。

若选用其他电缆，电缆直径应可承载电源电流，电压损耗越低越好。如有任何疑问，请咨询工厂。

数字仪器可按照以下方式操作：

1. 模拟接口（0 - 5Vdc/0 - 10Vdc/0 - 20 mA/4 - 20 mA）
2. RS232 接口（通过专用电缆连接至 COM 端口）
3. FLOW-BUS
4. PROFIBUS DP
5. DeviceNet
6. Modbus ASCII/RTU/TCP
7. EtherCAT
8. PROFINET
9. CANopen
10. EtherNet/IP
11. POWERLINK

多总线仪器均有选项 1 和选项 2 两个选项。所有可用的现场总线接口，均可任选其一。通过模拟接口、RS232 接口以及可选的现场总线，可同时操作。“控制模式”特殊参数会指示出控制器应监听的设定点：模拟或数字（通过现场总线或 RS232）。RS232 接口活动和 FLOW-BUS 接口类似。

若同时启用多个接口，可同时读取，不出现任何问题。

若更改参数值，更改前接口发出的最后一个值仍有效。

此外，对于部分选项，可通过仪器顶部的按压式按钮和 LED 指示灯来手动操作。

绿色 LED 指示灯显示仪器当前的活动**模式**。

红色 LED 指示灯显示**错误/报警**情况。

### 3.2 电源和预热

接通电源之前，检查是否已根据连接图完成所有仪器连接。

我们建议，先接通电源，再施加压力，停止施压后，关闭电源。

检查流体连接，确保不存在泄漏现象。如有需要，可用适当流体清洗系统。气体仪表只可用气体清洗。液体仪表无论何种用途，均可用气体或液体清洗。

打开电源，预热至少 30 分钟，确保仪器可稳定运行。若不使用电子设备（仅阀门），则无需预热。

预热期间，流体压力可处于打开状态也可处于关闭状态。

### 3.3 校零

一般来说，每台仪器出厂前均会校零。如有需要，可重新对仪器进行校零。

预热后，如有需要，可在未通入任何气流的情况下，通过仪器顶部的按压式按钮，启动自动校零程序。

流量控制器的设定点必须为零。确保未通入任何流体。

更多通过按压式按钮启动自动调零程序的相关信息，参阅文档号：9.17.023 《手动操作》。

也可通过连接 FLOW-BUS 接口模块的计算机软件程序或读数/控制单元，启动自动校零程序。

更多详细信息，请参见相应文档。

### 3.4 启动

缓缓打开流体供应。避免压力冲击，确保仪器压力逐渐上升至实际操作条件。关闭流体供应时也应缓缓关闭。液体控制情况下，确保清除系统中所有气泡。可通过控制阀顶部的净化连接装置，完成该操作。

### 3.5 操作条件

为适应客户工艺条件，所有仪器均须校准与调整。

若工艺条件变化幅度过大，受阀门孔板限制，控制器或阀门很可能无法正常使用。

若流体物理特性（如热容和粘度）随工艺条件变化而变化，则会对流量计的性能和精度产生非常大的影响。

### 3.6 仪表性能

#### 3.6.1 传感器

假定系统传递函数为指数状曲线，时间常数定义如下：

时间常数 = 信号达到最终输出值的 63.2% 所用的时间。近似的五个时间常数为达到最终值所用的时间。

流量传感器的时间常数和仪器类型与设置有关。

压力传感器时间常数为几毫秒。但压力计所属系统的气动响应决定实际响应时间。

#### 3.6.2 控制器

控制器动态响应采用出厂预设值。标准安定时间定义为到达（并保持不变）设定值（与初始设定值误差不超过  $\pm 2\%$ ）所需时间。

控制模式出厂设置为：阶跃变化后，很少出现过冲现象。

#### 注：

在压力控制系统中，通常由系统决定控制回路的响应行为。测试期间，尽可能模拟客户系统。但部分情况下，为达到最佳性能，需在实际条件下重新调整。

### 3.7 手工操作

通过手动操作按压式按钮，可选中/启动仪器部分重要功能。在模拟或总线/数字操作模式下，这些选项均可用。

（参见文档号 9.17.023 《手动操作》）

功能如下：

- 复位（仪器固件-程序复位）
- 自动校零（消除传感器电桥零偏）
- 恢复出厂设置（避免意外更改设置）

仅适用于 FLOW-BUS：

- 自动连接到 FLOW-BUS（为仪器配置空闲地址）
- 远程连接到 FLOW-BUS（通过电脑软件安装仪器）

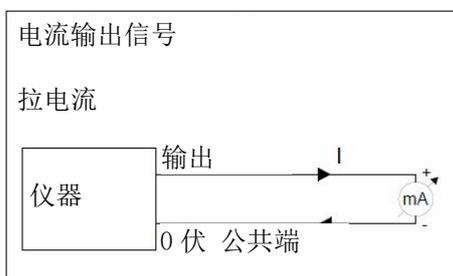
### 3.8 模拟操作

数字仪器可通过 9 针 sub-D 连接器或 8 DIN 连接器，采用模拟信号进行操作。在这一点上，这些仪器使用时可与模拟仪器互相兼容。

模拟操作仪器可根据 Bronkhorst®标准，通过 8 线屏蔽电缆和 9 针 D 型连接器或 8 DIN 连接器连接。

各电子电路板可设置以下输出（及相应的输入）信号：

信号代码	输出（传感器）信号	输入（设定点）信号
A	0 - 5Vdc	0.5Vdc
B	0 - 10Vdc	0.10Vdc
F	0.20 mA（拉电流）	0.20mA（灌电流）
G	4.20mA（拉电流）	4.20mA（灌电流）



仪表只有输出信号可用。

模拟操作时，以下参数可用：

- 测量值
- 设定点（仅限控制器）
- 阀电压（仅限控制器）

**注：**

通过模拟接口操作仪器时，可将仪器连接到任何可用现场总线系统（或带特殊电缆的 RS232 接口），读取/调整相应参数（如：控制器响应或其他流体选择）。

对于 FLOW-BUS 版本仪器，数字仪器读数/控制模块可临时连接到 RJ45 模块化插头。

### 3.9 总线/数字操作

通过现场总线操作，可减少搭建多个仪器系统所需的电缆数量，还可提供更多可供用户监控/更改的参数值。

如需了解数字式质量流量/压力仪表相关的更多详细信息，参见操作手册（文档号：9.17.023）。

通过现场总线操作，仪器可新增很多其他功能（与模拟操作相比）。

包括：

- 设定斜率（平滑控制所需的设定斜率功能）
- 8 种可选流体（高精度校准设置）
- 在读数/控制模块或计算机主机直接读取
- 测试和自检
- 响应报警（|设定值-测量值| 过高，时间过长）
- 几种控制/设定模式（如清洗/关闭阀门）
- 比率控制的主从模式（仅限 FLOW-BUS）
- 标识（序列号、型号、设备类型、用户标签）
- 可调的最小和最大报警阈值
- （批）计数器
- 控制器从零开始的可调响应时间
- 正常控制的可调响应时间
- 稳定控制的可调响应时间（|设定值-测量值|<2%）

注：

特殊 RS232 电缆由一个 T 型配件组成，仪器一侧为 1 个公头和 1 个母头的 sub-D9 连接器/8DIN 连接器，计算机一侧为一个普通母头的 sub-D9 连接器。对于应使用的正确 RS232 电缆，参见连接图。

通过这种电缆，可在进行 RS232 通信的同时，通过（模拟）sub-D9 连接器/8 DIN 连接器来连接电源和模拟接口。

RS232 通信波特率为 38400 波特（默认波特率），可用于：

- 通过特殊程序上载新固件（仅限已接受培训的 BHT 服务人员）
- 通过 BHT 维修程序维修仪器（仅限已接受培训的 BHT 服务人员）
- 通过 FLOWDDE、FlowB 32.dll 或 RS 232-ASCII 协议操作仪器（终端用户）

## 4 维护

### 4.1 一般规定

正常使用情况下，无需对仪表或控制器进行日常维护。可采用清洁、干燥的惰性气体吹扫相应装置。

如需了解更多信息，请联系供应商或工厂。

### 4.2 气体流量传感器

气体流量传感器构造旨在改变仪表量程，层流元件可移除。除拆除层流元件检查以及仅改变量程外，不建议用户自行拆卸仪器。更换层流元件后，须重新对流量计进行校准。校准时，请按照适当校准流程进行校准。可根据相应型号，单独订购层流元件。

### 4.3 液体流量传感器

用户不得更改液体流量传感器的流量量程。传感器是仪器的一部分，无法从仪器上拆除。偶尔清洁时，可用清洁液冲洗仪器。

### 4.4 压力传感器

金属薄膜非常脆弱，不建议用户拆卸压力传感器。

### 4.5 控制器

所有类型传感器均可与控制阀结合，接入控制回路。控制器系统可以是单独单元；一个传感器和控制阀，或是一个集成单元。

如果适用，维护程序参见“控制阀”相关描述。

### 4.6 控制阀

控制阀不能用于关闭和/或开关应用。此外，还须避免系统加压或释压期间发生压力波动。

#### 4.6.1 电磁阀

这些阀门也是通常所认为直接操作的控制阀和先导阀。

如果操作得当，仪器（仪表和/或阀门）无需定期维护，采用清洁介质，或湿润材料清洁，避免压力和热冲击和振动影响。特定部位可采用清洁、干燥的惰性气体（对于气体仪器）或非侵蚀性和非腐蚀性溶剂（对于液体仪器）清洗。

若污染严重，则可能需进行仪器内部和阀孔板清洗（如适用）。建议清洗后重新校准仪器。

若维修不当，很可能造成严重的人身伤害和/或设备相应系统损坏。因此，须由接受专业培训的合格维修人员进行维修。更多清洁与校准相关信息，请联系 Bronkhorst 代表。Bronkhorst 员工均接受了严格的培训。

#### 4.6.2 Vary-P 阀

Vary-P 阀用于工艺条件极其多变的阀门上游侧或下游侧或上下游两侧。 $\Delta p$  可在较大范围内变化。基本控制阀是一种可直接操作的电磁控制阀。

该设计已获得专利认证。

更多除先导阀外的其他阀孔板的选购与维护相关信息，请咨询工厂。

#### 4.6.3 先导阀

该控制阀是一种间接控制阀，由弹簧承力膜片/孔板系统组成，该系统通过螺线管直接操作控制（先导阀）定位。两个元件集成进了同一个模块。该模块程序基本与“电磁阀”所述拆卸程序相同。

出于清洁考虑，部分时候可能还需进一步拆卸，即也须拆下膜组件。

#### **注：**

须按照特殊程序，对装配先导控制阀的系统进行压力测试，避免阀门损坏。如有必要，测试前可提前联系工厂。

#### 4.6.4 波纹管阀

这些阀门适用于低压或真空应用环境。用户最好不要拆卸该型号。

Bronkhorst®强烈建议垂直安装波纹管阀。

#### 4.7 标定程序

所有仪器出厂前均已完成校准。如需重新校准或重新计算量程，请联系供应商或工厂。

#### 4.8 清洁

只能使用干燥清洁布清洁仪器。

## 5 数字仪表

详细说明参见文档号：9.17.023。

如需获取本文档，可打开多总线文档/软件工具光盘，获取本文档的 PDF 文件。

## 6 接口说明

可用接口说明参见文档号:

9.17.024 FLOW-BUS

9.17.025 PROFIBUS DP

9.17.026 DeviceNet

9.17.027 RS232

9.17.035 Modbus ASCII / RTU / TCP 9.17.063 EtherCAT 9.17.095 PROFINET

9.17.131 CANopen

9.17.132 EtherNet/IP 9.17.142 POWERLINK

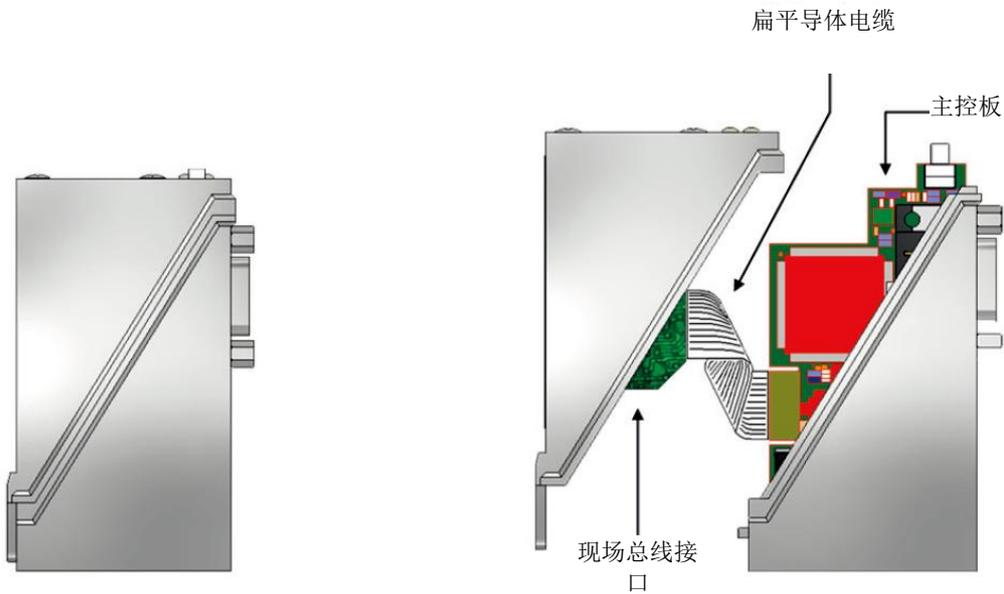
如需获取这些文档，可打开多总线文档/软件工具光盘，获取相应 PDF 文件。

## 7 故障排除

### 7.1 一般规定

为了准确分析流量/压力计或控制器是否正常运行，建议在未施加流体供应压力情况下，将该装置从生产线拆下后进行检查。若装置污损，可松开压缩式联轴器以及（如适用）入口侧法兰，确定相应情况。

Bronkhorst 不建议打开外壳，但在必须打开外壳的情况下，打开外壳时请务必小心，现场总线与主控板通过一根很细的扁平导体电缆连接。



对仪表进行通电或断电操作，确认是否存在电器故障。

随后，施加流体压力，检查仪表读数变化。

若怀疑存在泄漏情况，请勿采用泄漏检测液检查气泡，否则很可能导致传感器或控制板短路。

## 7.2 故障排除常见情况

故障征兆	可能原因	操作
无输出信号	未接通电源	1a) 检查电源 1b) 检查电缆连接
	由于长时间短路和/或高电压峰值导致输出级放大	1c) 返厂维修
	供应压力过高, 或仪表压差过大	1d) 降低压力过低
	阀门堵塞/污染	1e) 阀门连接 0 - 15Vdc 电源, 打开供应压力, 缓缓加压。阀门应在 7 伏±3 伏时开启; 如未打开, 请清洗部件并调整阀门 (仅限接受过培训的人员)
	入口接管滤网堵塞	1f) 清洁滤网
	传感器/毛细管故障	1g) 返厂维修
输出信号最大	输出级放大	2a) 返厂维修
	传感器/毛细管故障	2b) 返厂维修
输出信号远低于设定点信号或期望流量	滤网堵塞/污染	3a) 清洁滤网
	LFD 堵塞/污染和/或仪表进液	3b) 拆下 LFD 清洁; 用空气或氮气干燥仪表
	阀门堵塞/污染	3c) 清洗阀门
	阀门内部损坏 (柱塞阀座膨胀)	3d) 更换柱塞总成, 调整阀门或回流阀
	气体类型和/或压力/压差不对	3e) 在设计条件下测试仪表
流量逐渐减少	与 C3H8、C4H10 等碳氢化合物以及 NH <sub>3</sub> 发生缩合反应。	4a) 降低供应压力和/或加热待测气体
	控制器调整发生变化	4b) 参见“1e”
振荡	供应压力/压差过高	5a) 降低压力
	压力调节器与 MFC 间管道太短	5b) 增加上游管道长度或直径
	压力调节器振荡	5c) 更换压力调节器或尝试“5b”操作
	阀套或内部损坏	5d) 更换损坏零件, 调整阀门, 参见“1e”或返厂维修
	控制器调整出错	5e) 调节控制器
零点小流量	柱塞损坏或孔板内污物导致阀门泄漏	6a) 孔板清洁和/或柱塞总成更换事宜参见“1e”
	压力过高或过低	6b) 施加正确压力

注: 其他 (更多细节) 问题参见其他文档故障排除部分相关内容。

## 附录 1

### 气体换算表

文档号： 9.02.071



## 气体换算系数

编号:	名称:	符号	密度 $\rho_a$ [克/升] <sup>0°C, 1 atm。</sup>	热容* $c_p$ - 卡[卡/克·K] (20°C, 1 atm)。	换算系数 (20°C, 1 atm)
1	乙炔	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	1.172	0.438	0.61
2	空气	空气	1.293	0.241	1.00
3	丙二烯	C <sub>3</sub> H <sub>4</sub>	1.832	0.392	0.43
4	氨气	NH <sub>3</sub>	0.7693	0.524	0.77
5	氩气	Ar	1.784	0.125	1.40
6	胂	AsH <sub>3</sub>	3.524	0.133	0.66
7	三氯化硼	BCl <sub>3</sub>	5.227	0.136	0.44
8	三氟化硼	BF <sub>3</sub>	3.044	0.188	0.54
9	五氟化溴	BrF <sub>5</sub>	7.803	0.156	0.26
10	丁二烯 (1,3-丁二烯)	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>	2.504	0.405	0.31
11	丁烷	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	2.705	0.457	0.25
12	丁烯 (1-丁烯)	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	2.581	0.415	0.29
13	丁烯 (顺-2-丁烯)	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	2.503	0.387	0.32
14	丁烯 (反-2-丁烯)	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	2.503	0.421	0.30
15	羰基氟化物	COF <sub>2</sub>	2.983	0.194	0.54
16	羰基硫化物	COS	2.724	0.175	0.65
17	二氧化碳	CO <sub>2</sub>	1.977	0.213	0.74
18	二硫化碳	CS <sub>2</sub>	3.397	0.152	0.60
19	一氧化碳	CO	1.25	0.249	1.00
20	氯气	Cl <sub>2</sub>	3.218	0.118	0.82
21	三氟化氯	ClF <sub>3</sub>	4.125	0.188	0.40
22	氰	C <sub>2</sub> N <sub>2</sub>	2.376	0.275	0.48
23	氯化氰	ClCN	2.743	0.185	0.61
24	环丙烷	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	1.919	0.374	0.43
25	氘	D <sub>2</sub>	0.1798	1.73	1.00
26	二硼烷	B <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	1.248	0.577	0.43
27	二溴二氟甲烷	Br <sub>2</sub> CF <sub>2</sub>	9.361	0.17	0.20
28	二氯硅烷	SiH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	4.506	0.17	0.41
29	二甲胺	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> NH	2.011	0.417	0.37
30	二甲基丙烷 (2,2-二甲基丙烷)	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	3.219	0.462	0.21
31	二甲醚	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	2.105	0.378	0.39
32	乙硅烷	Si <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	2.857	0.352	0.31
33	乙烷	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	1.355	0.468	0.49
34	乙烯	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	1.261	0.414	0.60
35	环氧乙烷	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	1.965	0.303	0.52
36	乙基乙炔 (1-丁炔)	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>	2.413	0.401	0.32
37	乙基氯化物	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> Cl	2.878	0.263	0.41
38	氟	F <sub>2</sub>	1.696	0.201	0.91
39	氟利昂-11	CCl <sub>3</sub> F	6.129	0.145	0.35
40	氟利昂-113	C <sub>2</sub> Cl <sub>3</sub> F <sub>3</sub>	8.36	0.174	0.21
41	氟利昂-1132A	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	2.889	0.244	0.44
42	氟利昂-114	C <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> F <sub>4</sub>	7.626	0.177	0.23
43	氟利昂-115	C <sub>2</sub> ClF <sub>5</sub>	7.092	0.182	0.24
44	氟利昂-116	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	6.251	0.2	0.25
45	氟利昂-12	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	5.547	0.153	0.37
46	氟里昂-13	CClF <sub>3</sub>	4.72	0.165	0.40
47	氟利昂-13B1	CBrF <sub>3</sub>	6.768	0.12	0.38
48	氟利昂-14	CF <sub>4</sub>	3.946	0.18	0.44
49	氟利昂-21	CHCl <sub>2</sub> F	4.592	0.154	0.44
50	氟利昂-22	CHClF <sub>2</sub>	3.936	0.168	0.47

51	氟利昂-23	CHF <sub>3</sub>	3.156	0.191	0.52
52	氟利昂-C318	C <sub>4</sub> F <sub>8</sub>	9.372	0.222	0.15
53	氢化锗	GeH <sub>4</sub>	3.45	0.16	0.56

\*C<sub>p</sub> - cal (T,p) = C<sub>p</sub>(T + 50°C, p)

### 气体换算系数

编号:	名称:	符号	密度 $\rho_n$ [克/升] 0°C, 1 atm。	热容*c <sub>p</sub> - 卡[卡/ 克·K] (20°C, 1 atm)	换算系数 (20°C, 1 atm)
54	氦	He	0.1785	1.24	1.41
55	氦 (氦-3)	3He	0.1346	1.606	1.44
56	氢	H <sub>2</sub>	0.08991	3.44	1.01
57	溴化氢	HBr	3.646	0.0869	0.98
58	氯化氢	HCl	1.639	0.192	0.99
59	氰化氢	HCN	1.206	0.345	0.75
60	氟化氢	HF	0.8926	0.362	0.96
61	碘化氢	HI	5.799	0.0553	0.97
62	硒化氢	H <sub>2</sub> Se	3.663	0.109	0.78
63	硫化氢	H <sub>2</sub> S	1.536	0.246	0.82
64	异丁烷	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	2.693	0.457	0.25
65	异丁烯	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	2.60	0.429	0.28
66	氙气	Kr	3.749	0.058	1.43
67	甲烷	CH <sub>4</sub>	0.7175	0.568	0.76
68	甲基乙炔	C <sub>3</sub> H <sub>4</sub>	1.83	0.399	0.43
69	溴甲烷	CH <sub>3</sub> Br	4.35	0.118	0.61
70	氯甲烷	CH <sub>3</sub> Cl	2.3	0.212	0.64
71	甲基氟化物	CH <sub>3</sub> F	1.534	0.29	0.70
72	甲硫醇	CH <sub>3</sub> SH	2.146	0.272	0.53
73	六氟化钼	MoF <sub>6</sub>	9.366	0.156	0.21
74	一乙胺	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> NH <sub>2</sub>	2.011	0.436	0.36
75	一甲胺	CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub>	1.419	0.424	0.52
76	氖气	Ne	0.9002	0.246	1.41
77	一氧化氮	NO	1.34	0.239	0.97
78	氮	N <sub>2</sub>	1.250	0.249	1.00
79	二氧化氮	NO <sub>2</sub>	2.053	0.204	0.74
80	三氟化氮	NF <sub>3</sub>	3.182	0.194	0.50
81	亚硝酸氯	NOCl	2.984	0.17	0.61
82	一氧化二氮	N <sub>2</sub> O	1.978	0.221	0.71
83	氧气	O <sub>2</sub>	1.429	0.222	0.98
84	二氟化氧	OF <sub>2</sub>	2.417	0.201	0.64
85	臭氧	O <sub>3</sub>	2.154	0.207	0.70
86	正戊烷	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	3.219	0.455	0.21
87	过氯酰氟	ClO <sub>3</sub> F	4.653	0.165	0.41
88	全氟丙烷	C <sub>3</sub> F <sub>8</sub>	8.662	0.22	0.16
89	全氟乙烯	C <sub>2</sub> F <sub>4</sub>	4.523	0.206	0.33
90	碳酰氯	COCl <sub>2</sub>	4.413	0.149	0.47
91	磷化氢	PH <sub>3</sub>	1.53	0.277	0.73
92	五氟化磷	PF <sub>5</sub>	5.694	0.183	0.30
93	丙烷	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	2.012	0.456	0.34
94	丙烯	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	1.915	0.408	0.40
95	硅烷	SiH <sub>4</sub>	1.443	0.349	0.62
96	四氟化硅	SiF <sub>4</sub>	4.683	0.18	0.37
97	硫酸氟	SO <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	4.631	0.175	0.38
98	二氧化硫	SO <sub>2</sub>	2.922	0.157	0.68
99	硫六氟化物	SF <sub>6</sub>	6.626	0.175	0.27
100	四氟化硫	SF <sub>4</sub>	4.821	0.192	0.34
101	三氯硅烷	SiHCl <sub>3</sub>	6.044	0.157	0.33
102	三甲胺	C <sub>3</sub> H <sub>9</sub> N	2.637	0.424	0.28
103	六氟化钨	WF <sub>6</sub>	13.29	0.092	0.25
104	溴代乙烯	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Br	4.772	0.141	0.46

105	氯乙烯	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl	2.865	0.229	0.47
106	氟乙烯	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> F	2.08	0.305	0.49
107	氙气	Xe	5.899	0.0382	1.38

\*C<sub>p</sub> - cal (T,p) = C<sub>p</sub>(T + 50°C, p)

使用说明书如中英文版本内容存在差异，皆以英文版本为准。