

国产化替代艾默生ER5000系列 电子压力控制器及其功能扩展

Localized Replacement of Emerson ER5000 Series Electronic
Pressure Controller and Its Function Expansion



摘要：本文主要介绍了国产化替代方面所做的工作，替代产品为艾默生 TESCO ER5000 系列电子压力控制器及其背压阀。本文介绍了进口产品的性能特点和不足，提出了国产化替代技术路线，描述了国产化替代产品的性能指标，介绍了国产化替代产品的功能扩展和技术创新，使国产化替代产品具有了更高的性价比和使用灵活性。

1. 艾默生 ER5000 系列压力控制器

1.1. 压力控制器结构和原理

艾默生最新一代 TESCO ER5000 系列电子压力控制器，是一种多功能集成式的压力控制器，集成了压力传感器、PID（比例-积分-微分）控制器和电动比例阀三个部件，集传感器、控制器和电子阀门于一体构成一个完整的控制机构。TESCOM ER5000 电子压力控制器及其基本结构如图 1-1 所示。

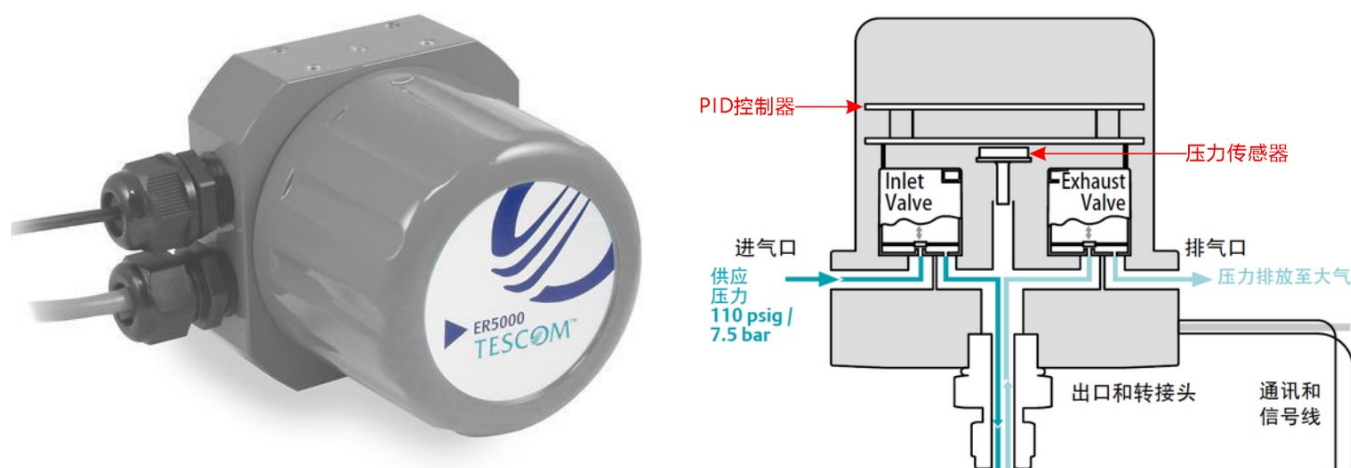


图 1-1 TESCO ER5000 电子压力控制器结构示意图

从图 1-1 可以看出，ER5000 电子压力控制器的功能就是控制底部出口处的压力，将进气压力降低并控制在设定压力上，使底部出口处的压力始终与设定压力一致。

ER5000 电子压力控制器实际上是一款电子式的减压阀，其工作原理如图 1-2 所示。外部气源向 ER5000 供给压力，供给压力通过打开的进气阀成为出口处的输出压力，同时此输出压力通过压力传感器反馈至 PID 控制器。如果反馈值低于压力设定值，控制器继续控制进气阀处于开启状态直到反馈值与设定值相等。等到上述两个值相等，进气阀将关闭，此时出口处持续输出恒定的设定值压力。如果反馈值高于设定值，则控制器将启动排

气阀，从而排放过量的出口压力直到反馈信号等于设定值。等到上述两个值相等，排气阀将关闭，此时出口处同样持续输出恒定的设定值压力。

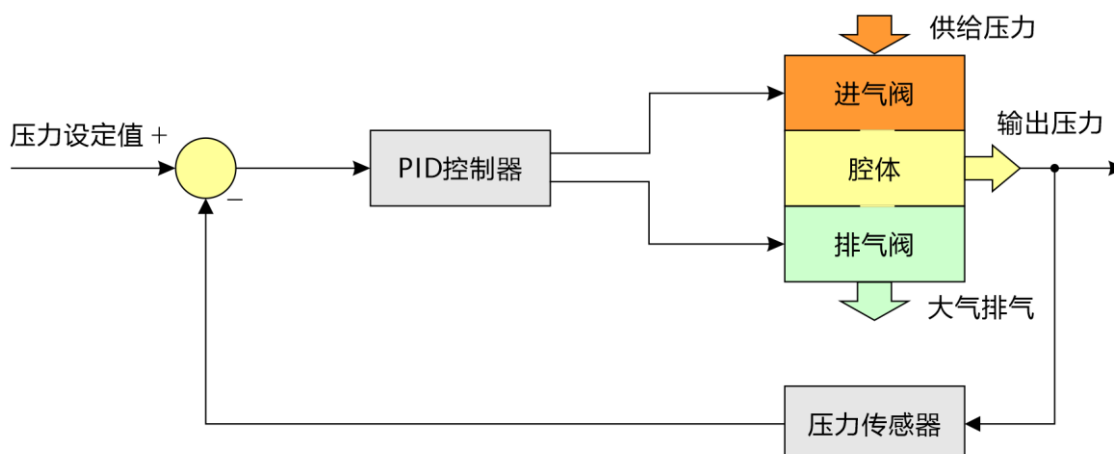


图 1-2 TESCO ER5000 电子压力控制器原理图

1.2. 典型应用

ER5000 压力控制器主要有两类应用方向，一是单机应用，二是与其他特殊阀门的配合应用，以达到不同范围内的压力调节和控制。

(1) 单机应用：从上述结构和原理可知，TESCOM ER5000 电子压力控制器是一款非常典型的电子式减压阀，在单机使用情况下，控制器本身可对压力 8.2bar 以下的气源进行减压并准确控制，甚至可以实现对粗真空的控制。另外，在单机应用中，可分别采用内部和外部反馈两种控制模式，如图 1-3 和图 1-4 所示。

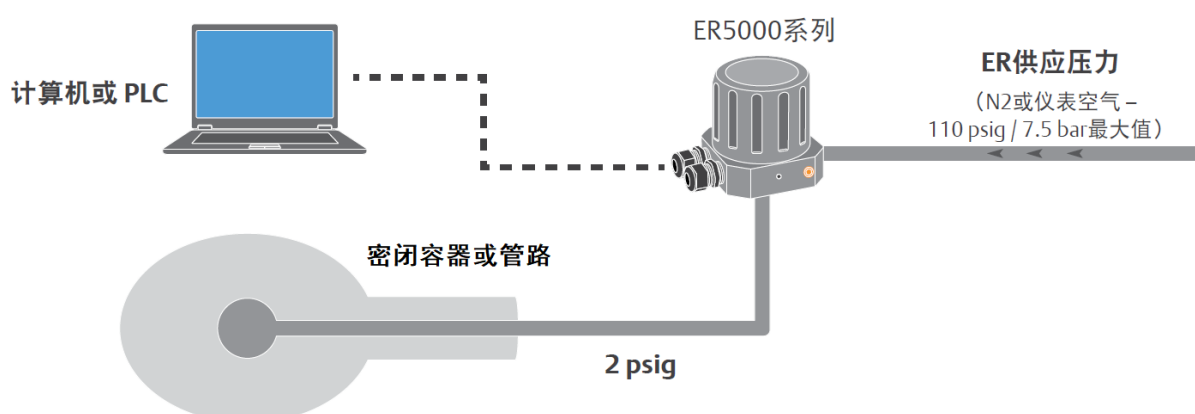


图 1-3 艾默生 ER5000 电子压力控制器内部反馈控制模式单机应用

(2) 配合使用：ER5000 电子压力控制器的一个重要应用是作为先导阀与其他调节阀配合使用，以调控更大的压力范围。更大压力减压应用如图 1-5 所示，与背压阀配合应用

如图 1-6 所示

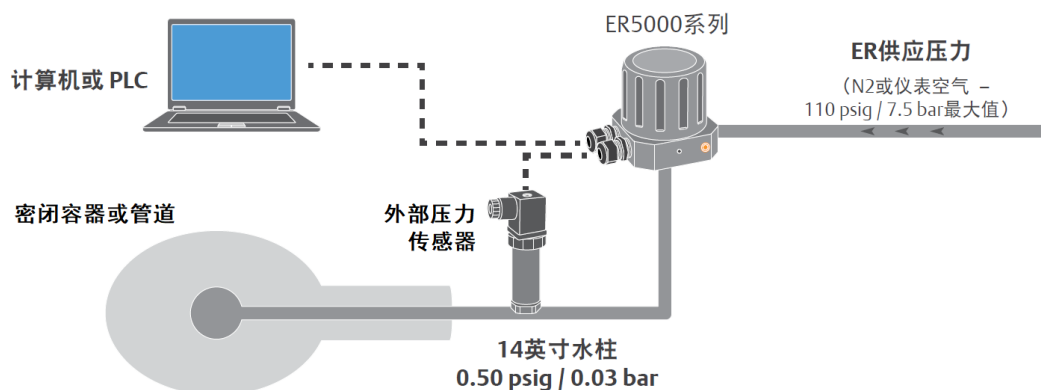


图 1-4 艾默生 ER5000 电子压力控制器外部反馈控制模式单机应用

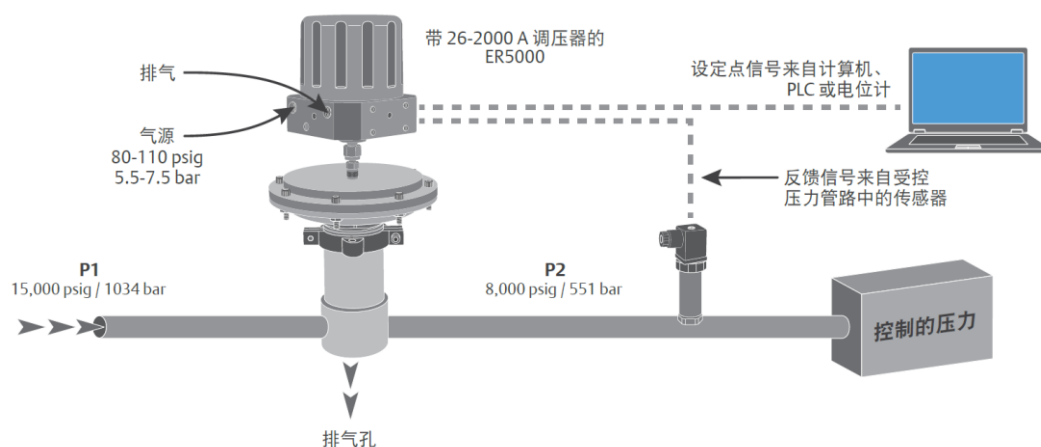


图 1-5 艾默生 ER5000 电子压力控制器典型减压应用

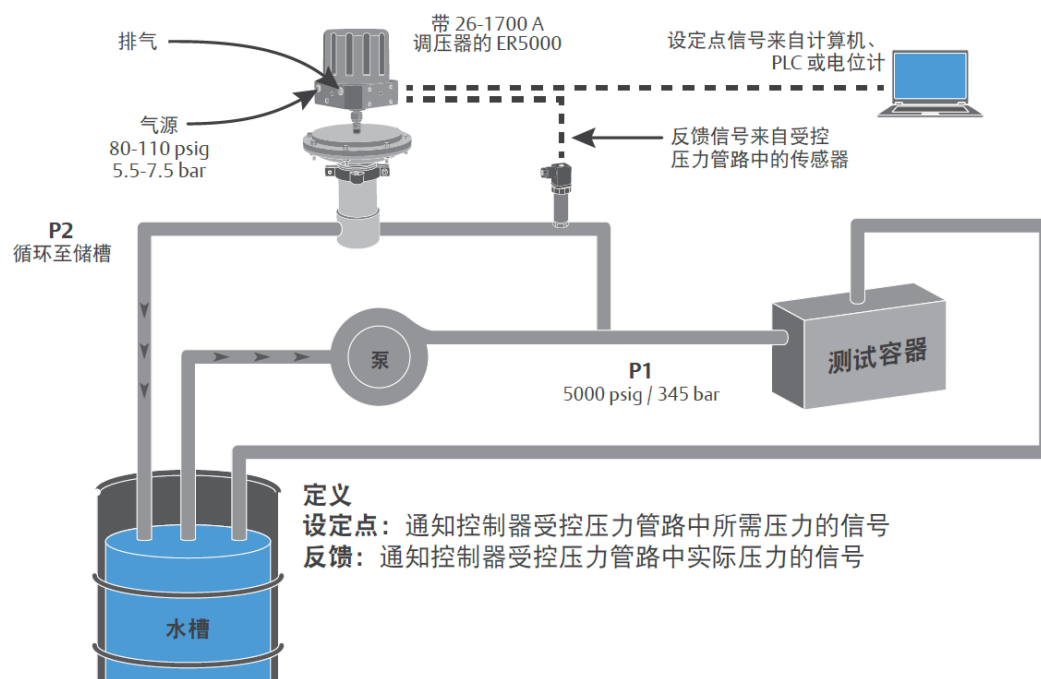


图 1-6 艾默生 ER5000 电子压力控制器典型背压应用

1.3. 性能指标

由于 TESCOM ER5000 系列电子压力控制器是由压力传感器、PID 控制器和双阀结构压力调节器三部分的集成，每部分的技术指标则代表了控制器的整体性能，相关技术指标和功能分列如下：

- (1) 压力控制原理：双电磁阀三通控压。
- (2) 介质类型：清洁、干燥的惰性气体或仪表级空气。
- (3) 进气口压力（绝对压力）：最小（真空泵压力），最大 8.2bar (820kPa)
- (4) 出气口压力（绝对压力）：最小 0.07bar (7kPa)，最大 8.2bar (820kPa)
- (5) 输入信号：USB、RS485、4~20mA、1~5V 或 0~10V。
- (6) 外部传感器反馈信号：4~20mA、1~5V 或 0~10V。
- (7) 内部压力传感器测量精度： $\pm 0.10\%$ (FSO)，其中包括了 $\pm 0.05\%$ (FSO) 线性度和 $\pm 0.05\%$ (FSO) 迟滞。
- (8) 控制器 A/D 转换：16 位。
- (9) 控制器重复性： $\pm 0.05\%$ (FSO)。
- (10) 控制器分辨率灵敏度： $\pm 0.03\%$ (FSO)。
- (11) 控制方式：PID（需结合专用软件 ERTune 进行 PID 参数调试和优化）。
- (12) 控制模式：内部反馈、外部反馈和双环三种模式。

这里特别介绍 ER5000 压力控制器的三种控制模式，这是此控制器的一个技术亮点：

(1) 内部反馈模式：该模式仅使用内部传感器。内部反馈模式使用 ER5000 内部压力传感器以监控控制器内部 1~100psig/0.07~6.9bar 范围内的绝对压力。

(2) 外部反馈模式：该模式仅使用外部传感器。外部反馈模式利用用户提供的外部传感器以监控系统压力，该传感器安装于过程管线中并向 ER5000 提供直接反馈。

(3) 双环模式：该模式是在“循环内循环”配置中同时使用内部和外部传感器。双环模式在一个 PID 循环中执行另一个 PID 循环。内部回路使用控制器的内部传感器，外

部回路使用外部传感器。

1.4. 功能和特点

从上述介绍，可归纳出 ER5000 压力控制器的以下几方面功能和特点：

- (1) ER5000 压力控制器最主要功能是可进行气体压力（不是流量）控制，即可实现密闭型容器和管道内压力的准确控制。
- (2) 整体集成式结构，集成了压力传感器、PID 控制器和双阀调节器执行结构，使得整体结构小巧，并便于安装使用和多台并行使用。
- (3) 作为一种典型的压力控制器，即可直接对最大 8.2bar 的气源压力进行减压并准确恒压控制（进气口为正压），也可用来控制低压（粗真空，进气口为真空），最低压力可达 0.07bar（7kPa）。
- (4) ER5000 压力控制器可作为先导阀来驱动各种大量程的减压阀和背压阀，控制器的出口与其他背压阀的先导口连接，可实现更大量程范围内压力调节和控制。
- (5) 压力传感器 $\pm 0.1\%$ 的测量精度和 16 位的 A/D 转换，属于中高端技术指标，可满足大多数应用场合。
- (6) 数字 PID 控制方式可实现压力的快速和准确控制。
- (7) 内部反馈、外部反馈和双环三种控制模式，使 ER5000 压力控制器具有较大的使用灵活性，可根据实际使用要求选择最佳控制模式。

1.5. 压力控制器存在的不足

尽管 ER5000 压力控制器有上述诸多功能和特点，但在实际应用中还存在以下多方面的限制和不足。

- (1) ER5000 压力控制器集成了真空压力控制领域中三种最常用部件，但由于是集成式结构而不是模块化积木式结构，这反而限制了 ER5000 压力控制器应用。如 ER5000 压力控制器中集成了两个电磁阀，但仅能进行气体压力控制，而无法进行只需单电磁阀的气体流量控制。
- (2) ER5000 压力控制器更侧重于正压控制，也可进行部分的负压控制，这主要是

由于所用阀门的漏率太高造成，从而并未发挥传感器（特别是外置传感器）和 PID 控制的强大功能。如果能降低控制器内部阀门的气体漏率，则控制器完全可覆盖整个真空度范围的控制，将目前的 7kPa 的真空度扩展到 1Pa 左右。

- (3) 在驱动各种大量程减压阀和背压阀应用方面，使用价格较高的 ER5000 压力控制器作为先导阀其性价比非常低，完全可以使用高性价比的国产替代产品。
- (4) ER5000 压力控制器 16 位的 A/D 转换，属于中高端技术指标，如果采用外置高精度的压力传感器则需要 24 位的 A/D 转换器，这使得 ER5000 压力控制器无法满足一些测量控制精度要求较高的场合。
- (5) 尽管 ER5000 压力控制器采用了 PID 控制方式，但 PID 参数的调节都需要使用专用软件，控制器自身缺乏 PID 参数自整定功能，还需连接计算机，现场操作非常繁复。
- (6) ER5000 压力控制器自身缺乏显示功能，还需连接计算机和使用配套软件才能进行调试和显示控制过程和结果。
- (7) ER5000 压力控制器的整体价格偏高，而且操作复杂，对操作人员有较高的要求。再结合控制器上述不足，这使得 ER5000 压力控制器的性价比并不高，很多场合下使用显得非常的奢侈和浪费。

2. 国产化替代技术路线

对艾默生公司最新一代 TESCO ER5000 系列电子压力控制器的国产化替代，技术路线是首先实现 ER5000 压力控制器的测控功能，提供高性价比国产压力控制器。然后采用模块结构技术路线，将真空压力传感器、PID 控制器和电子阀门分离为各自独立模块，每一类模块由一系列不同技术指标的部件组成，通过这些不同性能指标模块的组合来实现不同控制功能和精度要求，拓展控制器功能，满足不同需求，并具有高性价比。

2.1. 实现 ER5000 压力控制器功能

- (1) 国产化替代产品要达到 ER5000 电子压力控制器绝大部分功能，即实现 ER5000 压力控制器自身的减压和控压功能。
- (2) 国产化替代产品同时与 ER5000 压力控制器一样，可作用先导阀来对大量程高

压范围的气体进行减压和控压。

- (3) 国产化替代产品具有设定值输入和显示功能，无需软件和连接计算机进行操作。
- (4) 国产化替代产品价格低，具有高性价比。

2.2. 模块化结构和功能拓展

- (1) 模块化结构分为传感器、PID 控制器和电子阀门三个模块。
- (2) PID 控制器模块是所有模块的核心器件，决定了测控精度，决定了可配合使用的传感器和电子阀门的种类，决定了控制方式和控制模式。PID 控制器模块将采用 24 位 A/D 转换器提高测控精度，集成两个独立控制通道可同时控制 2 路真空压力或 1 路真空压力和 1 路温度，可连接多种真空压力和温度传感器，2 通道结合可进行正反双向控制以满足真空压力的上下游控制模式，2 通道结合可具备双传感器自动切换功能以覆盖宽泛测控量程，PID 控制器带程序设定功能可输入多条控制工艺曲线，可输入和存储多组 PID 参数，PID 参数调整带自整定功能，控制器带彩色液晶屏显示全过程参数和结果。
- (3) 电子阀门模块由多种规格型号的电子阀门构成，主要有流量调节阀和压力调节阀两大类。流量调节阀主要有小流量电动针阀和大流量大口径电动球阀蝶阀，这些流量调节阀都属于高速调节阀，开闭速度都在 1s 以内。压力调节阀主要有真空型背压阀和高压型背压阀，两种背压阀都可以在水气两相介质下工作。
- (4) 传感器模块主要是外协配套件，由多种规格型号的压力传感器和温度传感器构成，主要分为高压传感器、低压（真空）传感器、热电偶、铂电阻、热敏电阻、红外测温仪和直流电压信号，由此可覆盖几乎所有压力和温度范围内的测量。

3. 国产化替代产品

根据上述的国产化替代技术路线，上海依阳实业有限公司研制了相应的产品，现分别介绍如下。

3.1. 数显压力控制器

国产化的数显式压力控制器包括正压型和真空型两种规格，其压力控制原理和基本

结构与艾默生 TESCO ER5000 系列电子压力控制器一样，如图 3-1 所示。

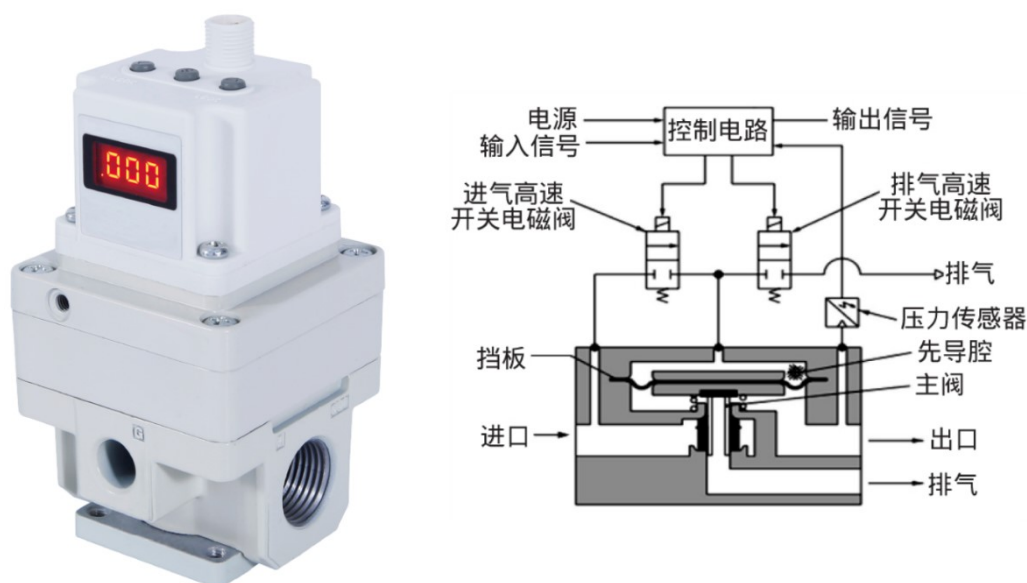


图 3-1 国产化电子压力控制器及其结构原理

国产化的数显式压力控制器同样是压力传感器、控制器和双阀结构压力调节器三部分的集成结构，相关技术指标和功能分列如下：

- (1) 压力控制原理：双电磁阀三通控压。
- (2) 介质类型：清洁、干燥的惰性气体或仪表级空气。
- (3) 进气口压力（绝对压力）：最小（真空泵压力），最大 50bar（5MPa）
- (4) 出气口压力（绝对压力）：最小 0.21bar（21kPa），最大 30bar（3MPa）
- (5) 输入信号：4~20mA、0~5V 或 0~10V。
- (6) 外部传感器反馈信号：4~20mA、0~5V 或 0~10V。
- (7) 内部压力传感器测量精度：±1.0%（FSO），其中包括了±0.5%（FSO）线性度和±0.5%（FSO）迟滞。
- (8) 控制器 A/D 转换：12 位。
- (9) 控制器重复性：±0.5%（FSO）。
- (10) 控制器分辨率灵敏度：±0.2%（FSO）。
- (11) 控制方式：内置 PID 自动控制，无需人工干预。

(12) 控制模式：内部反馈和外部反馈。

从上述技术指标可以看出，国产化压力控制器的有些技术指标进行了降低，如 12 位的 A/D 转换和 $\pm 1.0\%$ 测量精度，但拓宽了使用压力范围，增加了显示和输入功能，压力控制器可独立使用无需外接计算机和软件调试，降低了操作难度，提高了性价比，基本上能满足绝大多数领域的应用。

3.2. 背压阀（高压型和真空型）

国产化的新型背压阀模块单独分为高压型和真空型背压阀，两种背压阀都采用上述数显压力控制器做先导阀进行控制，但新型背压阀对艾默生 TESCO 等传统背压阀做了重大改进。

传统的背压阀，都具有一个固定在阀体上的阀座，此阀座与阀芯紧密贴合，来达到密封效果。它可以为大多数简单过程提供基本的压力控制，在这种设计中，通过弹簧或其他的方式提供一个预设加载力，这个加载力使得阀芯与阀座密封。当管路压力作用到阀芯上的力，与加载力相同时，则背压阀在预设的压力状态下正常工作；当阀门的入口端压力升高，使作用在阀芯上的力超过预设的加载力时，阀芯和阀座分离，释放入口端多余的压力，直至恢复预设的压力。传统背压阀结构，在瞬时流量变化较大、或入口压力波动频繁的情况下，控制压力的精度较低，原因如下：

- (1) 由于大多数控制压力超过 20bar 的传统背压阀，采用了活塞的方式作为阀芯的负载机构，活塞中的 O 形密封圈增加了动作摩擦，从而使阀芯动作卡滞；
- (2) 传统背压阀的进出口流道，多为单一且固定截面积的通路，当阀门入口的流量迅速增加或降低时，阀门的 C_v 值（流通能力）却没有变化，这样会使入口压力产生剧烈波动；
- (3) 传统背压阀阀芯和阀座，因密封需要，贴合时存在应力或摩擦，频繁的开合，会使其彼此互相磨损和消耗，破坏初始的形状，使 C_v 值发生不可预知的改变。

新型背压阀是上向下相连接的阀盖和阀体结构，如图 3-2 所示。阀盖和阀体之间连接有膜片，阀盖顶部开设先导气孔，先导气孔通过阀盖内部开设的气源通道连通至阀盖底部开设的供膜片中部起伏运动的活动槽，形成上下贯通的通路，阀体侧壁上分别开设相对设置的介质入口和介质出口，介质入口与阀体上表面开设的多个入口小孔相连通，介质出口

与阀体上表面开设的多个出口小孔相连通。新型背压阀的突出特点是整个动作无摩擦，不会产生压力滞后，入口压力稳定性高，具备更大的流通能力。

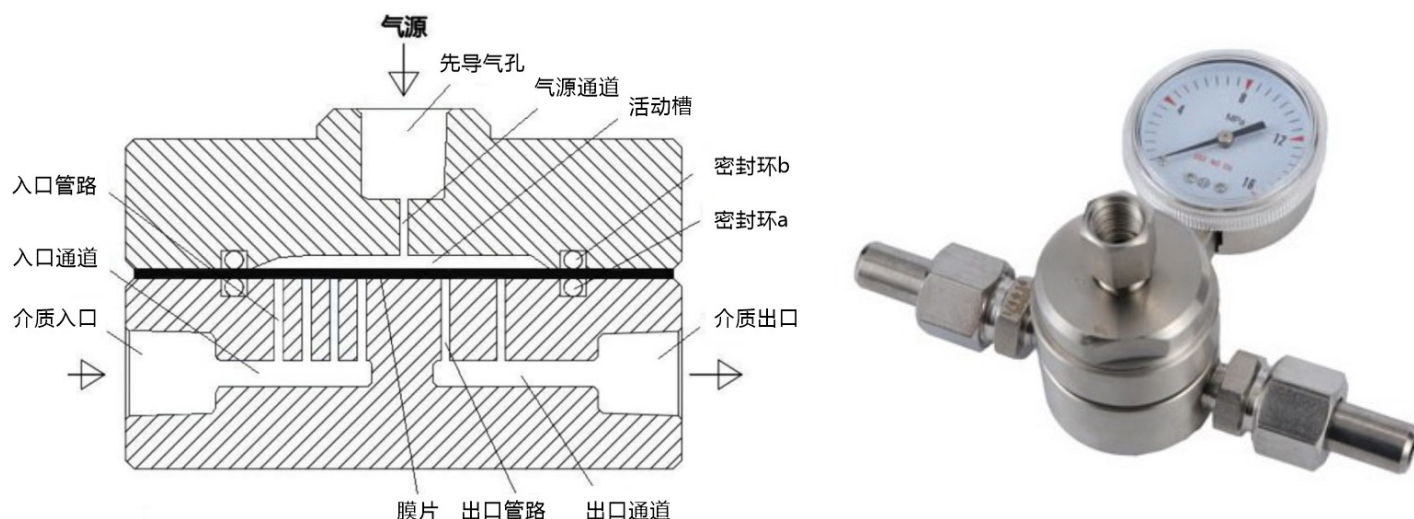


图 3-2 多孔式结构新型背压阀

3.3. 双通道高精度 PID 控制器

针对 PID 控制模块，为满足广泛的真空压力控制要求，上海依阳实业有限公司出品了 VPC2021 系列 PID 控制器，此系列控制器可进行真空、压力和温度的测量、显示和控制。采用了 24 位数据采集和人工智能 PID 控制技术，可接入各种型号的真空、压力和温度传感器，可控制多种型号的电动针阀、电动阀门和加热器等执行结构，可实现高精度真空、压力和温度等参量的定点和程序控制，是替代国外高端控制器产品的高性能和高性价比控制器。

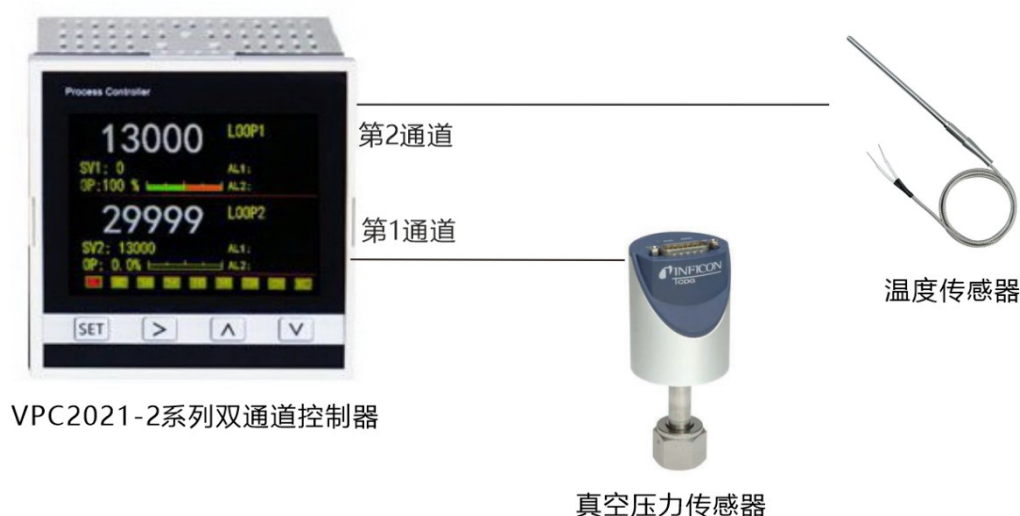


图 3-3 VPC2021 系列双通道高精度 PID 控制器及其应用

如图 3-3 所示，VPC2021 系列 PID 控制器具有双通道独立测控功能，可对不同通道上的参数同时进行测量、显示和控制。如果两个通道接入相同类型但量程不同传感器，如图 3-4 所示，可以根据测试值实现两个传感器之间自动切换，由此可覆盖宽量程的测量和控制。

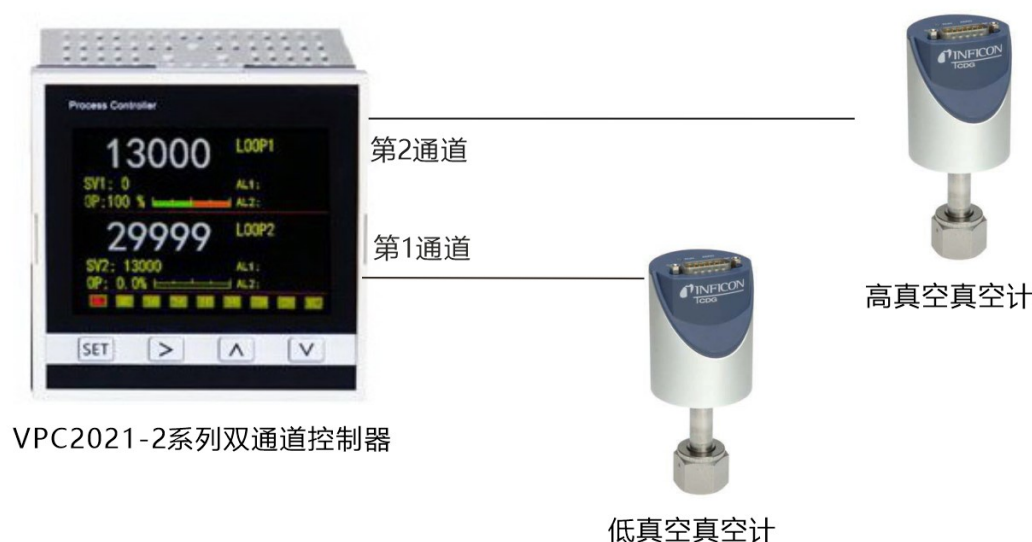


图 3-4 双通道高精度 PID 控制器的双传感器自动切换

VPC2021 系列双通道高精度 PID 控制器主要技术指标如下：

- (1) 测量精度： $\pm 0.05\%FS$ (24 位 A/D)。
- (2) 输入信号：可连接众多真空压力传感器，32 种信号输入类型（电压、电流、热电偶、热电阻）。
- (3) 控制输出：4 种控制输出类型（模拟信号、固态继电器、继电器、可控硅），可连接众多电动调节阀。
- (4) 控制算法：PID 控制和自整定（可存储和调用 20 组 PID 参数）。
- (5) 控制方式：定点和程序控制，最大可支持 9 条控制曲线，每条可设定 24 段程序曲线。
- (6) 通道：双通道，双通道传感器自动切换。
- (7) 通讯方式：RS 485 和以太网通讯。
- (8) 供电电源：交流（86-260V）或直流 24V。

(9) 外形尺寸: 96×96×136.5mm (开孔尺寸 92×92mm)

3.4. 高速电动流量调节阀

针对电子阀门模块, 为满足不同大小流量的高速调控, 上海依阳实业有限公司推出了两个系列的电子阀门, 一个系列是电动针阀用于小流量调控, 另一个系列是电动球阀和蝶阀用于大流量调控。这两个系列电子阀门的最大特点是可电控, 并具有 1s 以内的高速闭合时间, 是国内非常罕见的快速电子阀门。

如图 3-5 所示, 电动针阀 NCNV 系列是将步进电机的精度和可重复性优势与针阀的线性和分辨率相结合, 其结果是具有小于 2%滞后、2%线性、1%重复性和 0.2%分辨率的可调流量控制, 是目前常用电磁比例阀的升级产品。与依阳公司 VPC2021 系列真空压力控制器相结合, 可构成快速准确的真空压力闭环控制系统。

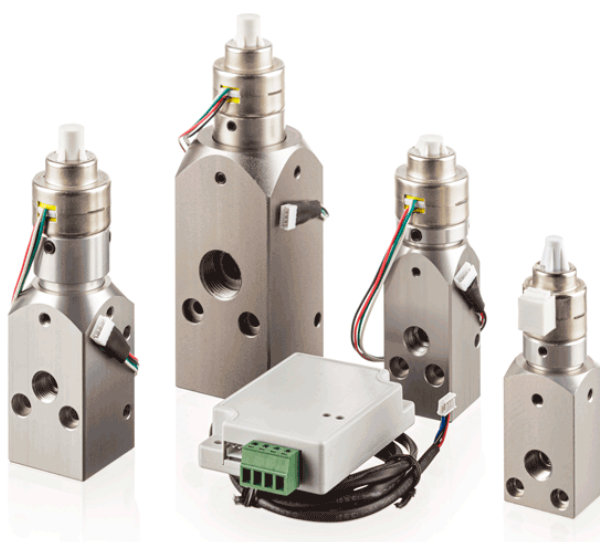


图 3-5 NCNV 系列电子针阀

NCNV 系列电动针阀主要技术指标和特点如下:

- (1) 多规格节流面积: 从低流量的直径 0.9mm (0~50L/min 气体) 到高流量的直径 4.10mm (0 到 660 L/min 气体) 的多种规格针阀节流面积, 可满足不同的应用需要。
- (2) 高度线性: 小于 2%的线性度, 简化了查表或外部控制硬件和软件的配套, 简化了命令输入和流量输出之间的关系。
- (3) 高重复性: 通过每次达到 0.1%的相同流量, NCNV 系列电动针阀可提供长期稳

定的一致性。

- (4) 宽压力范围：通过 5 或 7bar 巴的真空，取决于孔的大小，入口环境可覆盖宽泛的压力范围。电机的刚度和功率确保阀门在相同的输入指令下打开，与压力无关。
- (5) 低迟滞：小于 2% 的迟滞使积分和编程变得简单，在增加和减少达到设定点时能提供一致的流量。
- (6) 高分辨率：0.2% 的分辨率允许 NCBV 系列电动针阀根据调节指令的微小变化进行最小流量调整，提供了出色的可控性。
- (7) 快速响应：整个行程时间小于 1 秒，由此可提供及时快速的流量调节和控制。
- (8) 工作电压：VDC 24V。
- (9) 输入信号：4~20mA、0~5V 和 0~10V。

如图 3-6 所示，电动球阀 NCBV 系列是将高速电动执行器及高品质 V 型球阀组成，是目前常用慢速电动球阀的升级产品。与依阳公司 VPC2021 系列真空压力控制器相结合，可构成快速准确的真空压力闭环控制系统。



图 3-6 NCBV 系列电动球阀

NCBV 系列电动球阀主要技术指标和特点如下：

- (1) 最大扭力：2N.m。
- (2) 阀球转动角度：90°。

- (3) 开关阀时间：小于 1 秒。
- (4) 工作电压：VDC 24V
- (5) 输入信号：4~20mA、0~5V 和 0~10V
- (6) 防护等级：IP67。
- (7) 环境温度\湿度：-20℃至 45℃；≤85%（不凝露）。
- (8) 介质温度和压力：0~100℃；≤1.0MPa

4. 总结

综上所述，通过一系列国产化替代产品的开发，基本可以完全替代艾默生最新一代 TESCO MER5000 系列电子压力控制器及其背压阀，且性价比大幅度提高。重要的是，在国产化替代基础上，设计了更灵活易用的模块化结构，对单项模块产品进行了功能扩展和技术创新，开发了新型背压阀和高速电动流量调节阀，新开发的 PID 控制器具有更强大的功能和测量精度，整个系列的国产化替代产品具有较高的性价比。