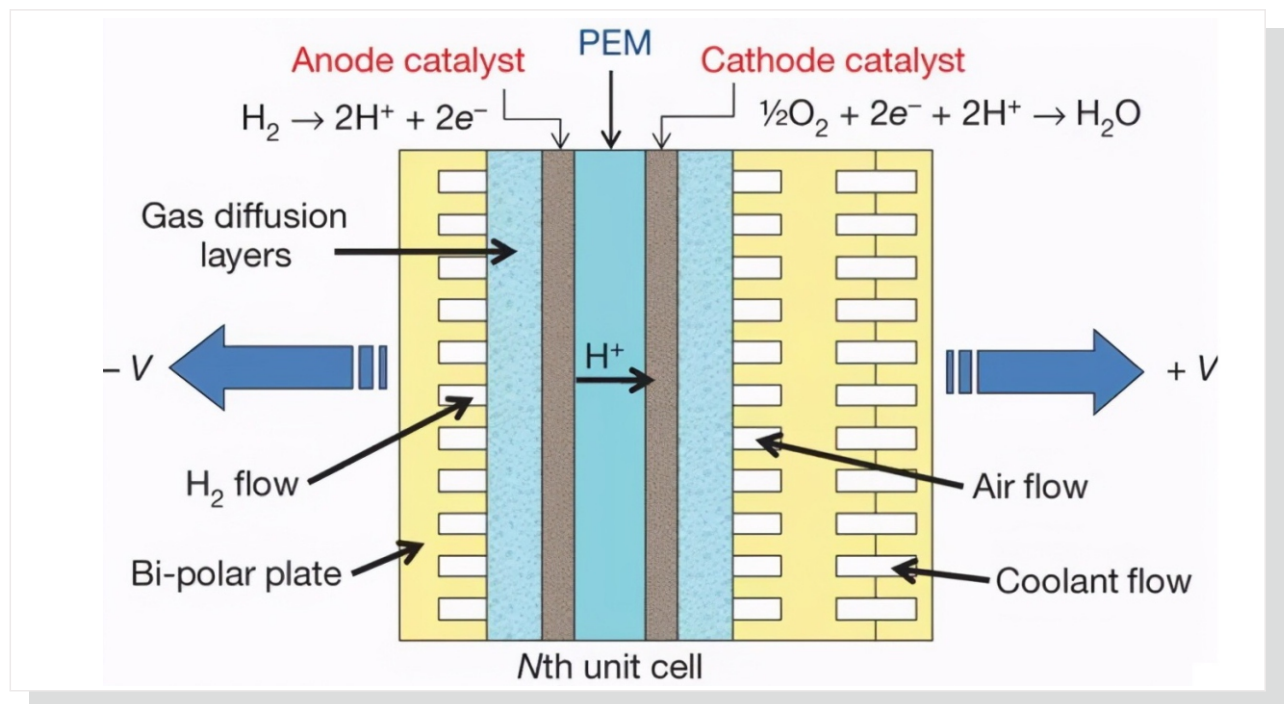


高精度快响应电动针阀在氢燃料电池系统 氢气压力控制中的应用

Application of High Precision and Fast Response Electric Needle Valve in Hydrogen Pressure Control of Hydrogen Fuel Cell System



摘要：氢气供应系统作为燃料电池系统的重要组成部分，其空气侧与氢气侧之间压力差的动态控制对于整个燃料电池系统可靠性尤为重要。本文针对氢燃料电池系统氢气压力控制中存在的问题，推荐使用精密电动针阀，并详细介绍了电动针阀的特点和技术参数。

1. 问题的提出

氢气供应系统作为燃料电池系统的重要组成部分，与电堆、空气供应系统、水热管理系统和电子电力系统协同工作，保证氢气流量、压力的稳定供应，并实现氢气循环利用。燃料电池氢气供应系统简化结构如图 1-1 所示。高压储氢罐是系统的氢气来源，氢气经过减压阀，压力降至适宜系统使用的范围，通常为几巴左右。氢气进气阀用于控制进入电堆的氢气量，进而控制电堆氢气回路的压力，目前常用的氢气进气阀为比例调节阀、开关阀或多个开关阀组。

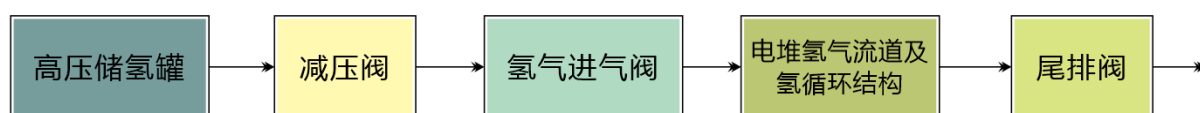


图 1-1 燃料电池氢气供应系统简化图

由于燃料电池自身膜电极的厚度逐渐降低，其机械强度相应下降，因此空气侧及氢气侧压力的动态控制对于整个燃料电池系统可靠性尤为重要，一般要求是氢气侧压力要等于或者稍高于空气侧压力，并且在调节两侧压力时要确保同升同降，以减少对质子膜的损害。然而，在目前氢燃料电池电源系统中，对于这两侧压差的控制存在以下几方面的问题：

- (1) 采用开关阀进行氢气进气的控制，使得整个氢气回路中的波动太大而不易控制；
- (2) 采用电磁比例阀尽管可以按照一定比例进行类似 PID 模式进行压力控制，但电磁比例阀由于存在较大磁滞现象，会带来控制不稳定的严重问题。

本文针对氢燃料电池系统氢气压力控制中存在的问题，推荐使用精密电动针阀，并详细介绍了电动针阀的特点和技术参数。

2. 电动针阀

电动针阀如图 2-1 所示。

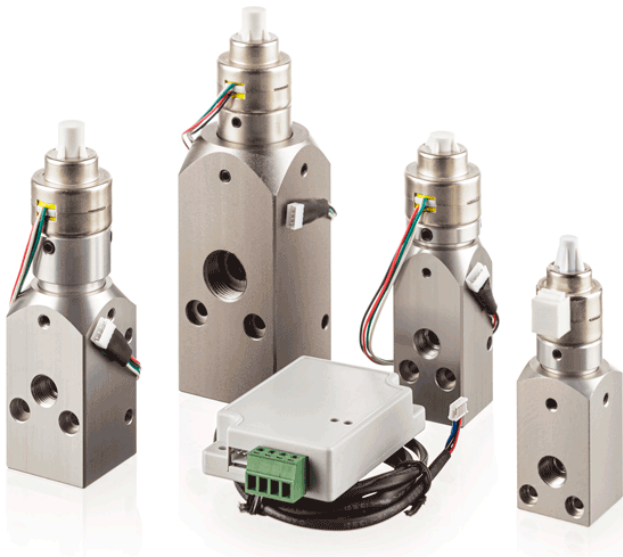


图 2-1 各种规格电动针阀

2.1. 技术指标

型号	NCNV-20	NCNV-120	NCNV-300	NCNV-1000
阀门类型	针阀			
阀芯节流内径	0.9mm	2.25mm	2.75mm	4.10mm
驱动器	双极式步进电机控制			
响应时间	0.8秒（全开到全关）			
接口口径	G 1/8"			G 3/8"
流体	惰性气体和液体			
接触材料	不锈钢			
压力范围	-1 ~ 7 bar			-1 ~ 5 bar
最大流量	50L/min @7bar	240L/min @7bar	290L/min @7bar	600L/min @7bar
线性度	±2%	±0.1~1%	±0.2~5%	±11%
重复精度（全量程）	±0.1%			
流量分辨率（单步长）	0.1L/min	0.1~0.2L/min	0.2~0.75L/min	1L/min
位移分辨率（单步长）	12.7 um	12.7 um	25.4 um	25.4 um
使用温度范围	0~84℃			
密封	标准FKM或其他密封件可选			
控制信号	直流：0~10V（或 4~20mA）			
工作电源	直流：24V（≤12W）			

图 2-2 电动针阀技术指标

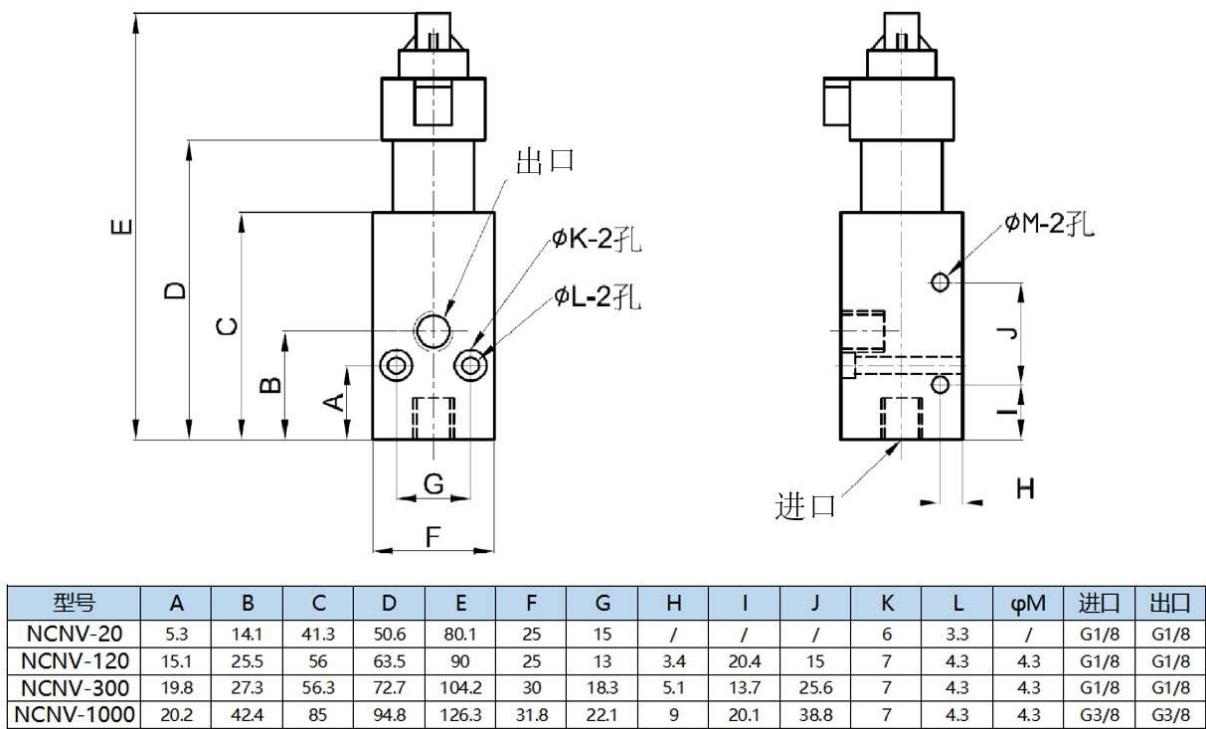


图 2-3 电动针阀尺寸

2.2. 驱动模块

数控电动针阀配备有步进电机驱动电路模块，以提供所需电源和控制信号，並以将直流信号转换为双极步进电机的步进控制，同时也可提供 RS485 串口通讯的直接控制。

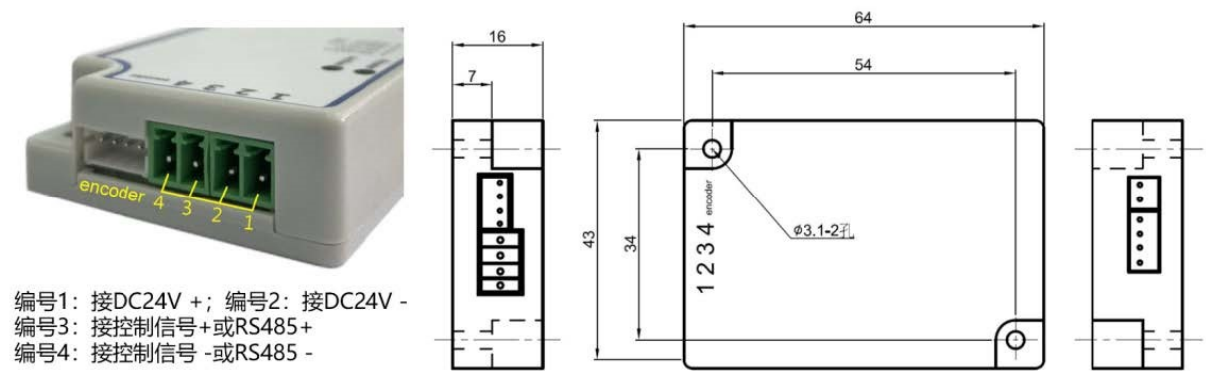


图 2-4 驱动模块及尺寸

2.3. 特点

新一代用于比例流量调节的数控电动针阀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换代产品。与各种 PID 控制算法和压力控制器相结合，可构成快速准确的氢气压力控制装置。

电动针阀具有以下几方面的特点：

- (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，可提供长期稳定的一致性。
- (4) 宽压力范围：通过 5 或 7bar 的压力，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。

