

三种典型电气比例阀压力控制精度的对比考核试验

Contrastive Assessment Test of Pressure Control Accuracy of Three Types of Electrical Proportional Valves

摘要：为实现0.1%超高精度的压力控制，需要选择合适的电气比例阀。本文介绍了三种典型电气比例阀的控制精度（线性度和稳定性）考核试验和结果，以从中确定合适性价比的电气比例阀来满足超高精度压力控制要求。

一、背景介绍

电气比例阀是一种根据直流电压控制信号大小来调整阀芯的截面面积，从而实现调节出口压力大小的调节。电气比例阀也可以被看做是一种电子式减压阀，可通过电压信号将较高的进气压力调整和控制到相应的较小压力值。

因电气比例阀具有可远程控制的减压功能，所以电气比例阀常被用于各种气体压力控制，同时电气比例阀也常被用作先导阀来驱动压力放大器（背压阀）实现更高压力的调节和控制。由此，电气比例阀的控制精度，特别是分辨率、灵敏度和稳定性，决定了工艺压力控制的最终效果。为实现0.1%超高精度的压力控制，需要选择合适的电气比例阀。本文将介绍三种典型电气比例阀的控制精度考核试验和结果，主要是对线性度和稳定性进行考核测试，以从中确定合适性价比的电气比例阀来满足超高精度压力控制要求。

二、三种电气比例阀

我们选择了三种国产电气比例阀，如图1所示，分别标识为比例阀1、比例阀2和比例阀3。



图1 用于考核试验的三种典型电气比例阀

上述三种电气比例阀厂家标称的技术指标如下：

比例阀1：最大输入气体压力0.3MPa，设定压力控制范围0~0.1MPa，外部模拟量输入信号0~10DVC，直线性小于 $\pm 0.7\%$ FS，重复精度小于 $\pm 0.4\%$ FS，迟滞小于0.3%FS，输出压力显示0.1kPa。

比例阀2: 最大输入气体压力1MPa, 设定压力控制范围0~0.9MPa, 外部模拟量输入信号0~10DVC, 线性度小于 $\pm 1\%$ FS, 重复精度小于 $\pm 0.5\%$ FS, 迟滞小于0.5%FS, 灵敏度小于0.2%FS, 输出压力精度为 $\pm 2\%$ FS ± 1 digit。

比例阀3: 压力范围0~150PSI, 外部模拟量输入信号0.5~4.5DVC, 线性度小于 $\pm 0.5\%$ FS, 压力精度小于0.25%FS。

三、考核试验装置

为考核上述三种电气比例阀, 搭建了考核试验装置。考核试验装置的结构如图2所示, 整个装置如图3所示。

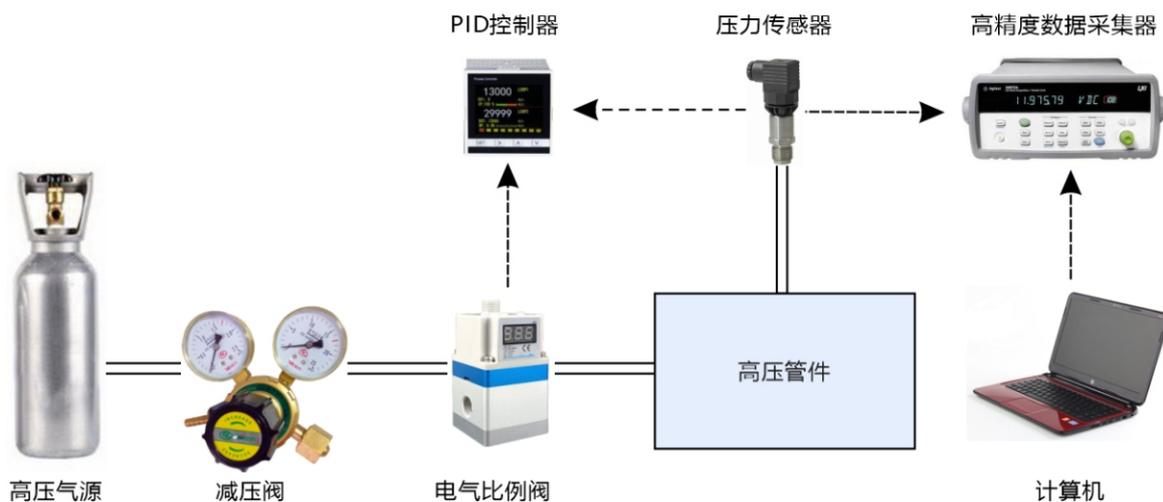


图2 电气比例阀控制精度考核试验装置结构示意图

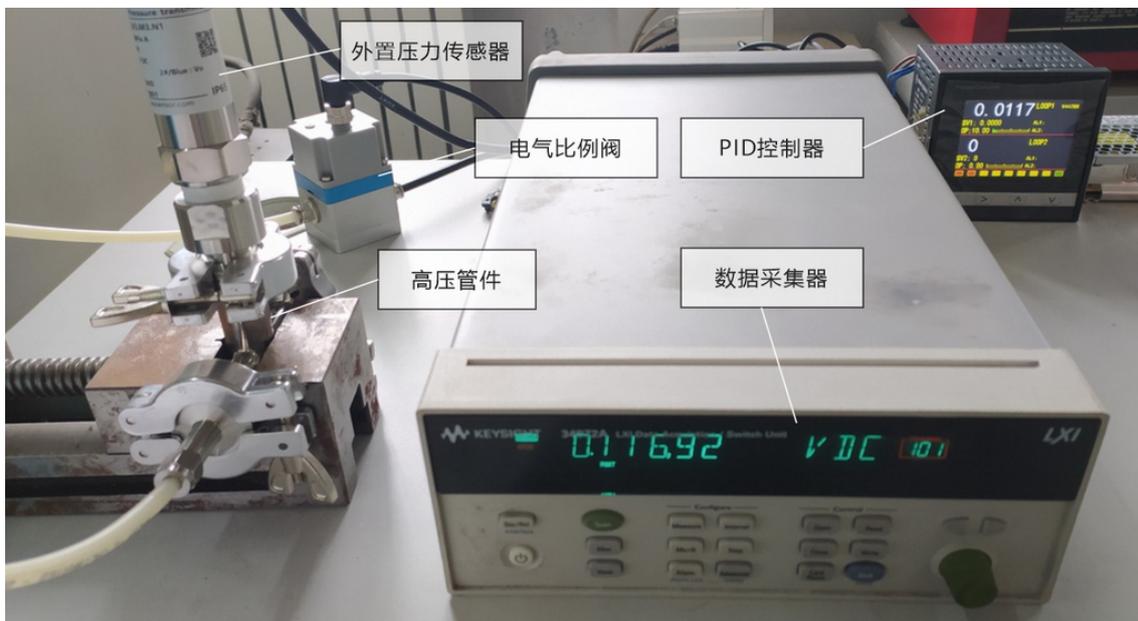


图3 电气比例阀控制精度考核试验装置

整个考核试验装置主要有以下几部分组成:

- (1) 电气比例阀: 被检器件, 用于根据模拟控制电压输入信号控制出口压力。
- (2) 高压管件: 用作压力容器, 电气比例阀控制高压管件内部压力。高压管件同时并连接压力传感器。

(3) 高压气源：为电气比例阀提供高压气体。

(4) 减压阀：以手动方式调节高压气源输出稳定的压力供给电气比例阀。

(5) 压力传感器：压力传感器为独立外接形式，具有0.05%的超高精度。

(6) PID控制器：采用超高精度的PID控制器，ADC为24位，DAC为16位，最小输出百分比为0.01%。配备有随机软件，可通过计算机软件对PID控制器进行控制，并采集、显示和存储测量数据。

(7) 多通道数据采集器：安捷伦34972A，五位半/六位半采集，20通道。配备有随机软件，可通过计算机软件对采集器进行控制，并采集、显示和存储测量数据。

四、一号比例阀考核试验和结果

考核试验过程中，根据比例阀输入的模拟信号电压0~10V量程，在同样是0~10V控制电压输出的PID控制器上以间隔10%的输出间隔对比例阀进行控制，控制变化范围从0~100%。由此得到一系列输入控制电压所对应的比例阀压力控制值，以及压力随时间变化的波动性。同时。通过这些测量值可进行线性拟合最终得到比例阀的线性度，如图4和图5所示。

电压 (mV)	压力 (kPa)	波动 (%)	拟合值	偏差	线性度 (%)
1002.0	10.025	0.25	9.909	0.1156	0.12
2003.2	19.810	0.20	19.867	-0.0571	-0.06
3006.0	29.875	0.08	29.841	0.0342	0.03
4006.5	39.700	0.04	39.792	-0.0916	-0.09
5005.0	49.730	0.05	49.722	0.0076	0.01
6003.5	59.575	0.04	59.653	-0.0783	-0.08
7002.5	69.600	0.05	69.589	0.0108	0.01
7999.5	79.470	0.03	79.505	-0.0351	-0.04
8998.0	89.470	0.03	89.436	0.0340	0.03
9998.5	99.445	0.03	99.387	0.0582	0.06

图4 一号电气比例阀控制精度考核试验数据

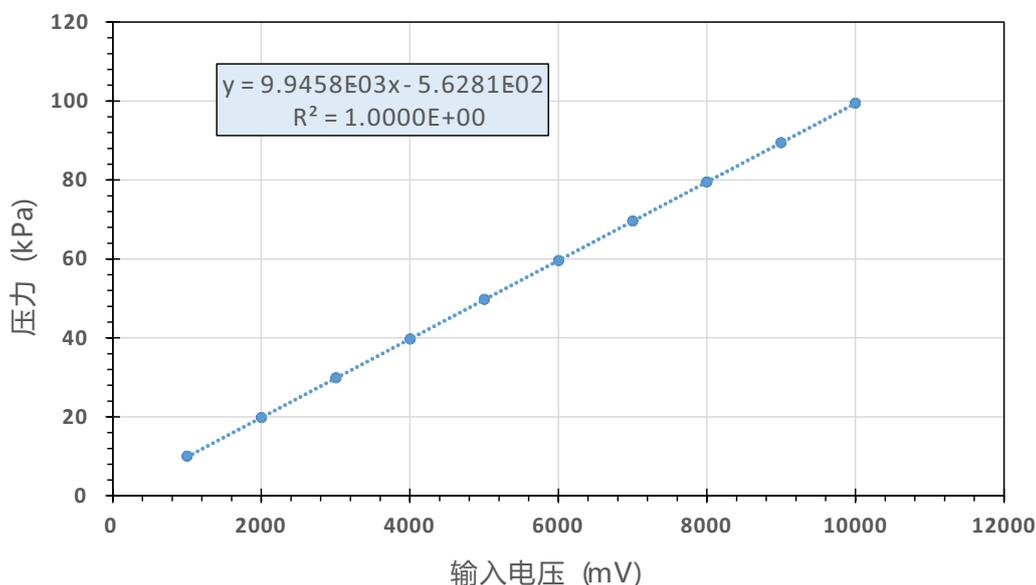


图5 一号电气比例阀线性度考核试验结果

从一号电气比例阀考核试验结果可以看出，此比例阀的线性度优于 $\pm 0.2\%$ ，波动性（短期稳定性）在20kPa以下的低压端为 $\pm 0.25\%$ ，波动性（短期稳定性）在30kPa以上的高压端为可优于 $\pm 0.1\%$ ，甚至可达到 $\pm 0.05\%$ 。

五、二号比例阀考核试验和结果

二号比例阀考核试验过程中，根据比例阀输入的模拟信号电压0~10V量程，在同样是0~10V控制电压输出的PID控制器上以间隔10%的输出间隔对比例阀进行控制，控制变化范围从0~100%。由此得到一系列输入控制电压所对应的比例阀压力控制值，以及压力随时间变化的波动性。同时。通过这些测量值可进行线性拟合最终得到比例阀的线性度，如图6和图7所示。

电压 (V)	压力 (MPa)	波动 (%)	拟合值	偏差	线性度 (%)
1.002	0.0915	0.54	0.035	0.0569	0.06
3.007	0.2660	0.38	0.048	0.2176	0.22
5.006	0.4380	0.23	0.062	0.3760	0.38
7.004	0.6170	0.16	0.076	0.5408	0.54
9.000	0.7090	0.28	0.084	0.6255	0.63

图6 二号电气比例阀控制精度考核试验数据

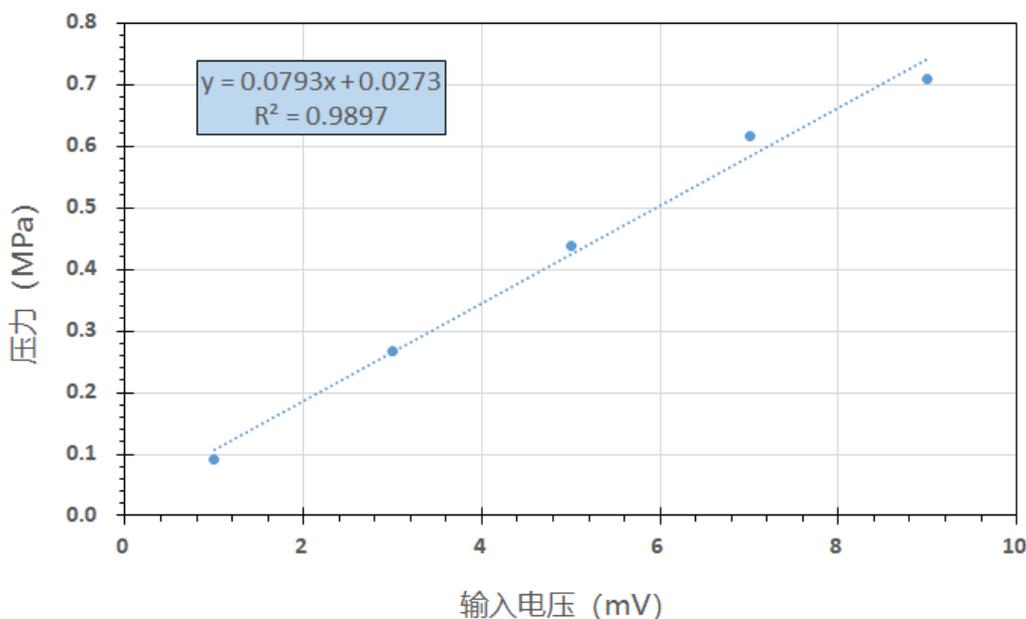


图7 二号电气比例阀线性度考核试验结果

从二号电气比例阀考核试验结果可以看出，此比例阀的线性度为 $\pm 0.63\%$ ，波动性（短期稳定性）整体较大，最大为 $\pm 0.54\%$ 。

六、三号比例阀考核试验和结果

三号比例阀考核试验过程中，根据比例阀输入的模拟信号电压0.5~4.5V量程，在0~10V控制电压输出的PID控制器上以间隔10%的输出间隔比例阀进行控制，控制变化范围从0~50%。由此得到一系列输入控制电压所对应的比例阀压力控制值，以及压力随时间变化的波动性。同时。通过这些测量值可进行线性拟合最终得到比例阀的线性度，如图8和图9所示。

电压 (V)	压力 (MPa)	波动 (%)	拟合值	偏差	线性度 (%)
1.002	0.093	1.08	0.094	-0.0011	-1.16
1.503	0.190	0.53	0.189	0.0009	0.49
2.004	0.284	0.20	0.284	-0.0002	-0.06
2.505	0.380	0.03	0.380	0.0003	0.09
3.008	0.475	0.04	0.475	0.0001	0.02
3.506	0.571	0.04	0.570	0.0006	0.10
4.007	0.665	0.08	0.665	-0.0007	-0.11
4.508	0.760	0.04	0.761	-0.0003	-0.04

图8 三号电气比例阀控制精度考核试验数据

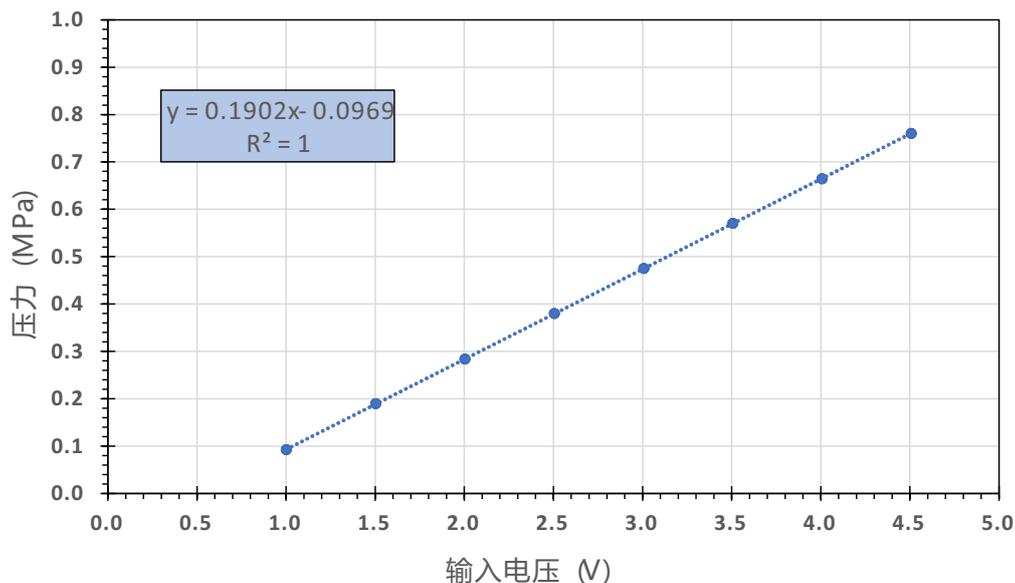


图9 三号电气比例阀线性度考核试验结果

从三号电气比例阀考核试验结果可以看出，此比例阀的线性度优于 $\pm 1.2\%$ ，波动性（短期稳定性）在0.2MPa以下的低压端大于 $\pm 0.5\%$ ，波动性（短期稳定性）在0.4MPa以上的高压端可优于 $\pm 0.1\%$ ，甚至可达到 $\pm 0.05\%$ 。

七、结论

从上述三个典型电气比例阀控制精度考核试验可以得到的结论是：一号和三号比例阀具有较高的控制精度，仅在量程的低压端，精度略显偏低，但这已经足以证明一号和三号比例阀比较适用于超高精度压力控制的执行机构。二号比例阀的精度整体偏低，无法用于高精度的压力控制，仅能作为一种简单的压力粗调装置使用。