

# 高压流变仪用TESCOM ER5000高精度 压力控制系统的国产化替代方案

## Domestic Alternative Scheme of TESCOM ER5000 High Precision Pressure Control System for High Pressure Rheometer

摘要：本文针对高温高压流变仪中的压力控制，特别是针对美国艾默生公司的全套压力控制系统TESCOM ER5000，提出相应的国产化解决方案。解决方案采用的也是电气比例阀驱动背压阀实现高压精密控制，整个压力控制系统为分体式结构，但采用了独立的精度更高的双通道PID控制器作为外部控制器，与电气比例阀一起构成双环控制模式。此方案除了实现国产替代之外，最大特点是可以驱动两个背压阀实现高压全量程的精密控制，且控制精度更高。

### 一、问题的提出

高温高压流变仪是在特殊的高温高压条件下测量流体材料流变特性（如粘度等）的精密分析仪器，模拟材料的使用工况条件，研究流体材料的黏度与温度、压力的关系，对石油开采（如钻井液、压裂液、酸化液、原油）、石化生产（如润滑油）、煤化工（如油煤浆）、食品加工（如淀粉糊化）等行业有重要指导意义。

国内外都非常重视流变仪的研发和使用，但是其核心技术以前一直由西方国家掌握，我国的流变仪一直依赖进口，迫切需要中国自主研发的设备。为此，科技部设立了重大科学仪器设备开发专项“超高温高压钻井液流变仪的研发及产业化”（项目编号：2012YQ050242）以期彻底解决核心技术卡脖子问题。此开发专项由北京探矿工程研究所牵头承担，于2018年取得了重大技术突破，开发完成了Super HTHP Rheometer 2018超高温高压流变仪，并编制了相应的企业标准“Q/HDTGS0006-2018 超高温高压流变仪”，可用于测试钻井液、压裂液等样品在高温高压（最高320°C、220MPa）及低温高压（最低-20°C、220MPa）条件下的流变性。

尽管Super HTHP Rheometer 2018超高温高压流变仪在关键技术上取得了突破，但根据文献“王琪, 赵建刚, 韩天夫等. 超高温高压流变仪中高精度压力控制系统的实现[J]. 地质装备, 2018, 19(2):3.”报道，高压流变仪中的压力控制采用的是美国艾默生公司的全套压力控制系统，其中包含了TESCOM ER5000压力控制器和相应的背压阀。

本文将针对高温高压流变仪中的压力控制，特别是针对美国艾默生公司的全套压力控制系统，提出相应的国产化解决方案。本文将详细介绍国产化替代方案的具体内容和相应配套产品。

### 二、国产化替代解决方案

在高温高压流变仪中使用的TESCOM ER5000压力控制系统是一种典型的双回路串级PID控制方式（双环模式），如图1所示，其工作原理是采用0.7MPa量程的低压电气比例阀来驱动200MPa量程的背压阀实现精密高压调节。

根据我们对高压压力控制的使用经验和具体实际应用的了解，特别是针对高温高压流变仪中的高压压力精密控制，应用TESCOM ER5000压力控制系统特别需要注意以下几方面的问题：

(1) 尽管TESCOM ER5000压力控制系统采用的是双回路PID串级控制模式，但由于采用的是16位AD转换器，所以在控制精度上还有潜力可挖，如采用更高精度的AD转换器。

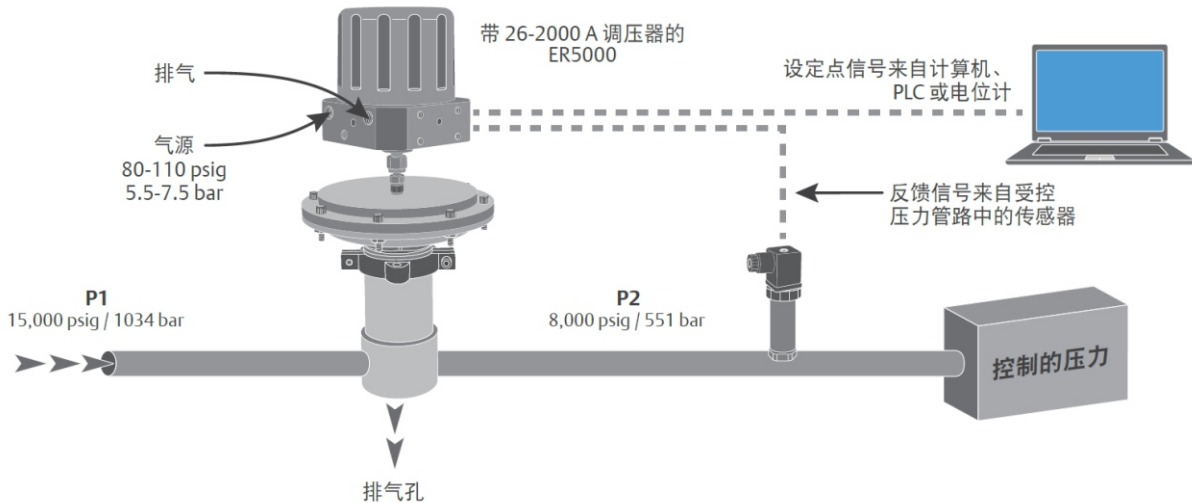


图1 TESCO ER5000压力控制系统结构示意图（内置和外置双压力传感器，双环模式控制）

(2) 在整个200MPa的高压范围内，采用一个艾默生TESCOM背压阀并不能准确覆盖整个高压范围的压力精密控制，在某些压力区间会出现失调现象。这也是所有背压阀都会出现的问题，解决方法是采用至少2个背压阀来覆盖整个高压范围的精密控制。由此，如果采用2个背压阀进行全量程的高压控制，这势必要采用两套ER5000压力控制器，会明显提升成本。

目前国产的背压阀已经非常成熟，技术难度主要在于ER5000压力调节器的国产化替代。针对高精度的压力控制，我们分析了ER5000压力调节器的技术思路，特别基于ER5000压力调节器所采用的这种非常有效的双环模式高精度压力控制方法，我们提出了精度更高和更经济国产化替代方案。如图2所示，方案的技术核心为：

(1) 采用分体结构形式，与TESCOM ER5000系统的工作方式相同，同样采用电气比例阀驱动背压阀。根据高压压力控制范围，选择2个不同工作压力范围的背压阀来覆盖整个量程。

(2) 采用国产电气比例阀作为背压阀的驱动，自带PID控制功能的电气比例阀组成内部闭环控制回路，实现背压阀压力输出的精密调节。

(3) 外置压力传感器和双通道PID控制器构成外部闭环回路，控制器输出作为电气比例阀设定值，由此可实现ER5000压力控制器的双环工作模式。

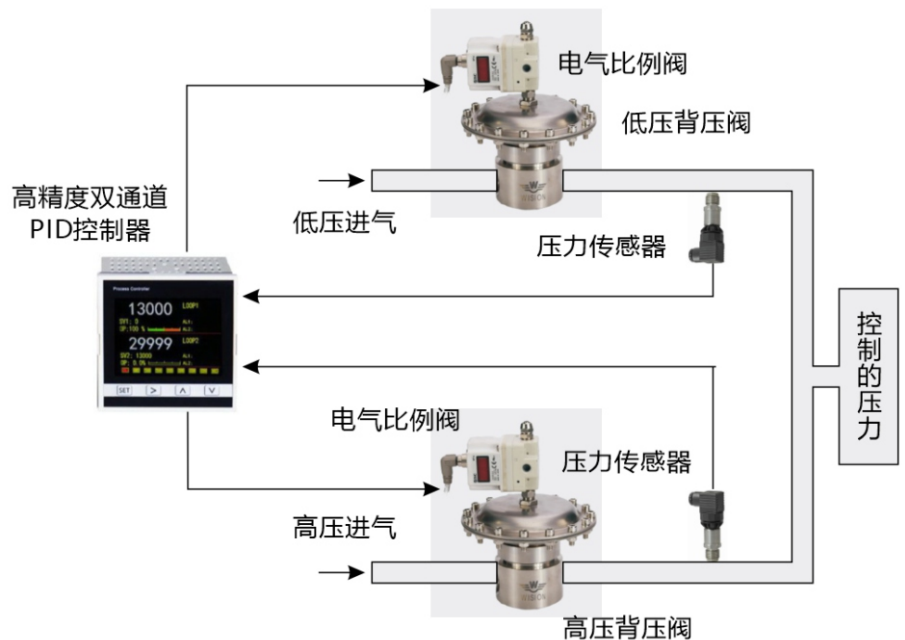


图2 双阀结构高压压力精密控制系统结构示意图

(4) 国产化替代的技术核心是双通道PID控制器，每个通道都具有24位AD和16位DA，双精度浮点运算和最小输出百分比为0.01%，控制器具有RS 485通讯和标准的MODBUS协议，并配备了测控软件，可遥控操作和存储显示测试曲线。此PID控制器性能指标远优于ER5000控制器。

我们经过大量试验，已经验证了这种国产比例阀和高精度PID控制器组成的串级控制模式可有效的实现和改善高压压力控制精度，完全可以实现对ER5000压力控制系统的国产化替代。