

使用压力控制器和电气比例阀组成串级回路 实现一次性生物反应器袋安全高精度快速充气

Using Pressure Controller and Electric Proportional Valve to Form Cascade Loop to Realize High-Precision Inflating Single Use Bioreactor Bag.

摘要：目前的一次性生物反应器袋充气压力控制普遍只使用了电气比例阀或双阀压力控制器，此种充气控制方式中，压力安全监控无法自动反馈和响应、所控压力并不是真正的反应器袋压力，且充气速度较慢。本文针对现有技术存在的问题进行了改进，提出采用串级控制法，通过外置压力控制器和传感器，以比例阀作为执行机构组成双闭环控制回路，可大幅提高控制精度和充气速度，更重要的是可实现充气压力安全监控和报警自动处理。

一、问题的提出

一次性生物反应器 (Single Use Bioreactor) 或用后可弃生物反应器(Disposable bioreactor) 是使用一次性袋的生物反应器，代替由不锈钢或玻璃制成的培养容器，简称SUBs。与可重复使用的生物反应器相比，一次性生物反应器(SUBs)具有的重要优势是减少了工艺认证难度，无需清洁认证，缩短了停机时间和周转时间。

在所有的一次性生物反应器使用过程中，都存在一个充气步骤，需要将反应器充气到指定压力。但一次性生物反应器生物反应器袋并不属于压力容器，过度加压会造成反应器袋的破裂、泄漏或其他故障。因此，一次性反应器袋的准确充气加压必须考虑到在生长期间引入、消耗和产生的气体，以及培养基、消泡剂和其它引入流体的影响。

目前常用的SUB充气控制装置是采用电气比例阀，也有采用类似电气比例阀的双阀压力控制器，整个充气压力控制装置如图1所示。

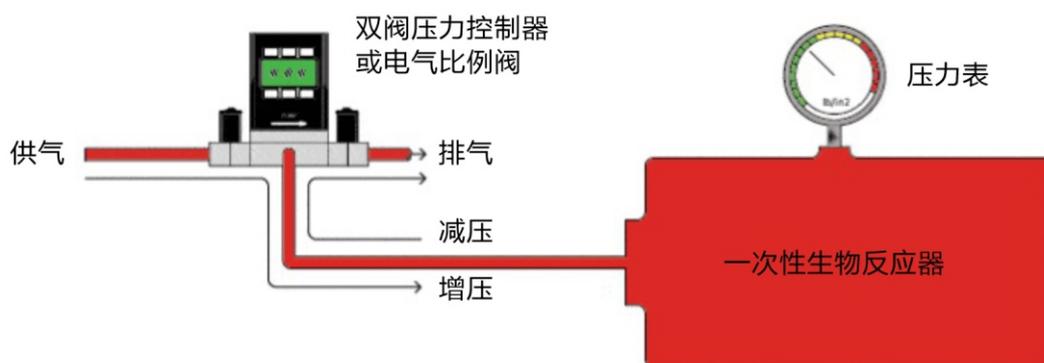


图1 一次性生物反应器袋典型充气压力控制系统结构示意图

在实际应用中，图1所示的充气压力控制系统存在以下两方面问题：

(1) 安全性问题：在图1充气压力控制系统中，双阀压力控制器或电气比例阀都内置有压力传感器，此传感器测量的是出压口处的压力，并不代表一次性生物反应器袋的内部压力。因为，出于安全性考虑，还需增加一个压力表来监控反应器袋的真实压力。因此，很多SUB制造商希望更准确的直接控制一次性生物反应器袋的内部压力，并同时具有报警功能。

(2) 准确性和滞后问题：由于压力控制器和电气比例阀远离反应器袋，所控压力与反应器袋希望的的压力值有一定偏差，而且这种充气控压方式存在明显滞后现象，充气速度较慢。

二、串级回路充气压力控制

为了解决上述一次性生物反应器袋充气压力控制中存在的问题，本文提出一种更精确可靠且快速的充气压力控制方法，其核心技术是采用串级控制方法，即对图1所示的压力控制系统进行了改良，增加一个独立的压力控制器。新型充气压力控制系统如图2所示。

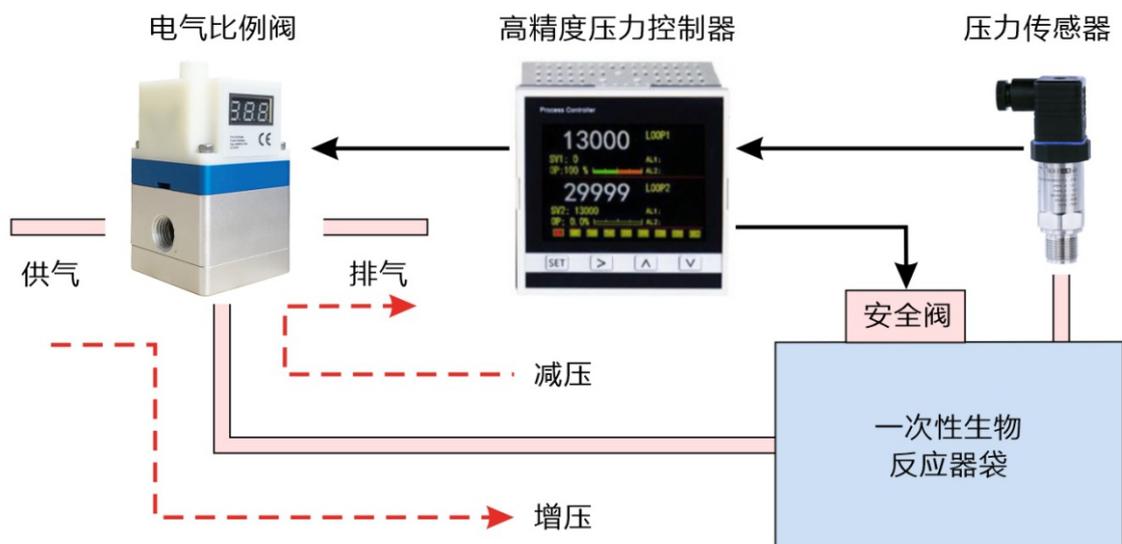


图2 生物反应器袋新型串级双回路充气压力控制系统结构示意图

图2所示的升级改良后的新型充气压力控制系统，主要有以下几方面的特点：

(1) 所采用经典的串级控制法，以电气比例阀作为独立的内部执行回路，再外接独立的压力控制器和压力传感器，结合电气比例阀组成外部控制回路，由此构成的串级控制结构形式，可充分发挥串级控制法能提高控制精度和加快充气速度的优势，有效提高压力控制精度和缩短充气时间，此特性对大容积一次性反应器袋的充气过程尤为具有优势。

(2) 外接的压力传感器直接安装在反应器袋上，更能准确监测反应器袋的内部压力。

(3) 外接的压力控制器具有超压报警功能和相应的开关控制信号输出。如果反应器袋内部压力超过设定警戒线后，可立刻报警并输出开关信号驱动安全阀放气。

(4) 压力控制器采用的是24位ADC和16位DAC，具有超高的压力测量和控制信号模拟量输出精度，另外通过双精度浮点运算，可实现最小0.01%的超高精度压力控制调节。

(5) 压力控制器可存储多个充气压力控制参数，便于不同容积大小的一次性生物反应器袋的充气压力控制而无需再进行设置和调整。

(6) 控制器可具有两通道形式，即一个压力控制器可同时控制两个电气比例阀实现两个一次性生物反应器袋的充气压力控制。

(7) 压力控制器带RS 485通讯，标准MODBUS协议，即可独立运行，也可与上位机通讯。

(8) 随机配的软件可方便采用计算机对压力控制器进行遥控，避免繁复的仪器按钮操作。

三、总结

综上所述，通过上述新型串级控制系统，可有效提高一次性生物反应器袋充气过程中压力控制的安全性、精度和速度，并具有操作便捷和可扩展的特点。同时此种串级双回路结构适用于各种形式和规格的电气转换器、电气比例阀和双阀压力控制器。