

附件 3:

石油化工行业计量技术规范项目建议书

建议项目名称	金属类微反应器控制系统校准规范		
制定或修订	<input checked="" type="checkbox"/> 制定 <input type="checkbox"/> 修订	被修订计量技术规范号	/
计量技术规范性质	<input type="checkbox"/> 检定规程 <input checked="" type="checkbox"/> 校准规范	计量技术规范类别	<input checked="" type="checkbox"/> 重点 <input type="checkbox"/> 基础
主要起草单位	南京市计量监督检测院		
联系人	冯鑫	联系电话	18912998596
任务年限	2027 年	申请经费	3 万
参加单位	南京工业大学、江苏省计量科学研究院		
目的、意义和必要性	<p><u>1.指出该计量技术规范项目编制的目的、意义，解决产业的问题和编制必要性、迫切性；</u></p> <p>微化工技术是指在微米级或亚微米级空间内进行化学反应和化工分离过程的技术。微化工技术兴起于 20 世纪 80 年代，针对传统化工技术存在设备投资大、效率低以及安全性差等问题，微化工技术可以充分发挥小尺寸、大比表面积、流动过程可控性高等优势，为降低生产成本、提高反应过程安全性提供了新方案。</p> <p>微化工的通道尺寸显著小于传统反应釜的特征尺寸，提升了分子扩散效果，获得优异的传质传热能力，有效提高工艺过程的安全性，由此研发出的微通道反应器开始广泛应用于各大化工生产企业。</p> <p>目前，在实际生产中，微通道反应器工艺仍面临安全性挑战，其主要原因是实际生产中微反应器控制系统的温度、压力等参数的不稳定性、不准确性，无法保证微通道反应器及其控制系统的良好运行，因此，制定相应的校准规范具有重要的现实意义。</p>		

2.先进性和亮点、社会效益和推广应用前景；

先进性

(1) 前沿性关键技术的研究。微通道反应器作为一项前沿技术，正逐步改变着化工行业的生产方式。它不仅提升了反应效率和产品质量，还带来了更高的安全性、灵活性和经济性，以及环境友好型的生产模式。目前，国内微反应器的研究领域：清华大学、大连化学物理研究所、南京工业大学等高校和研究机构处于前列。因此，联合相关研究机构编制微通道控制系统校准规范属于前沿技术的研究。

(2) 首次开展规范的研究工作。微通道反应器理论研究较多，从制造和过程参数控制标准上来看，目前，还没有国标、行标、地标；不同的生产厂家针对自己的产品制定自己的企业标准；从校准规范方面来讲，还没有相应的测试方法，本规范的编制为首次官方性的统一的技术文件。

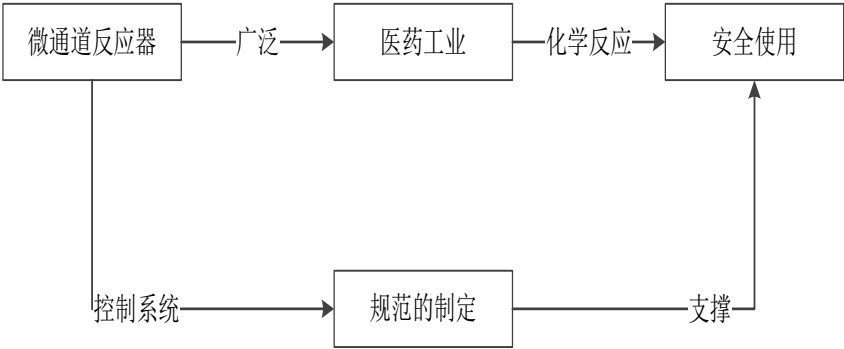
社会效益

本项目的制定可以有效的降低事故的发生率，为化工、医药工业安全生产提供保障。微通道反应器独有的特征保证了其更适用于速度快、放热量大、反应剧烈的目标反应，这些工艺在实际生产中需要对反应通量以及流程参数上进行严格的控制。因此，制定本规范可以帮助生产单位和使用单位针对微反应器控制系统开展精准的控制，从而有效降低流程工艺事故的发生率。

应用前景

目前，微通道反应系统前景非常广阔，主要得益于其独特的优势，包括反应速度快、传质效果好、能耗低等。这种技术将传统的化学反应器缩小到微米尺度，不仅在化学合成、催化反应、能源转化等领域具有广泛的应用，微化工技术将成为化工生产的主流，逐步替代传统的化工反应模式。

因此，本规范的指定对于开展微反应器控制系统的精准控制、规范微反应器的使用、降低化工反应方面的事故发生率具有重要的指导性作用，具有很好的应用前景。

	<p>3.查新结果（国家、本行业或其他行业是否有相关技术规范）； 经查询，T/CIET 730-2024《连续流微通道反应器控制系统技术规范》（不公开）规定了系统的基本组成和技术要求，为相关的测试方法标准。</p> <p>国家、本行业或其他行业均未见微通道反应器或其相关的检定或者校准规范。</p>
产业链应用	<p>1. 重点产业链方向； 医药工业</p> <p>2. 对本行业重点产业链的支撑作用。 微反应器系统的优点在于：（1）高效混合：微通道内的流体可以实现快速、均匀的混合，大大提高了反应效率；（2）热量传递：由于其小尺寸，微通道反应器具有很高的热传导率，可以迅速升高或降低反应温度；（3）易于放大生产规模：通过增加更多的通道数量，可以很容易地扩大生产规模，而不改变反应条件。其缺点在于如果温度、压力控制不精准也会容易出现爆炸等事故。</p> <p>微反应器广泛应用于医药工业的化学反应、药物合成等领域，微反应器控制系统的规范制定能够支撑微反应器的安全使用，其逻辑如下图 1 所示：</p> <div><pre>graph LR; A[微通道反应器] -- 广泛 --> B[医药工业]; B -- 化学反应 --> C[安全使用]; A -- 控制系统 --> D[规范的制定]; D -- 支撑 --> C;</pre></div> <p>图 1 产业支撑逻辑图</p> <p>本规程主要为医药工业的安全提供技术支撑，通过校准微反应器控制系统中的温度、压力参数来实现微反应器反应条件、反应过程的精准控制，为医药工业的安全运行保驾护航。</p>

范围 and 主要
计量特性

1. 计量技术规范的适用范围；

本规程主要适用于硝化、氧化、过氧化等工艺的金属类微反应器控制系统中温度、压力参数的误差校准，保障微反应器的安全运行。

2. 以典型仪器或试验设备等（注明仪器型号）为依据，提出计量特性的技术指标，包括其名称、测量范围和最大允许误差；

以南京工业大学自行研制的产品，型号 HCL-C-600 为例，拟制定计量特性等技术指标如下表 1 所示：

表 1 主要的技术指标

序号	项目	技术要求
1	油浴温度偏差	±2℃
2	油浴温度均匀度	1.0℃
3	微反应器温度偏差	±2℃
4	微反应器压力误差	0.5 级

3. 主要测量标准的技术指标；

所采用的主要测量标准的技术指标如下表 2 所示：

表 2 主要测量标准

序号	校准项目	设备名称及计量器具
1	温度误差、均匀度	多通道温度测试仪，测量范围：（-50～200）℃，分辨力：0.01℃，MPE：±0.2%FS℃（低于 100℃为±0.2℃）
2	压力误差	智能数字压力校验仪，测量范围：（0～40）MPa，准确度等级：0.05 级

4. 简要描述主要计量项目的技术原理。

金属类微反应器是一种小型的反应设备，其控制系统主要组成如下图 2 所示：

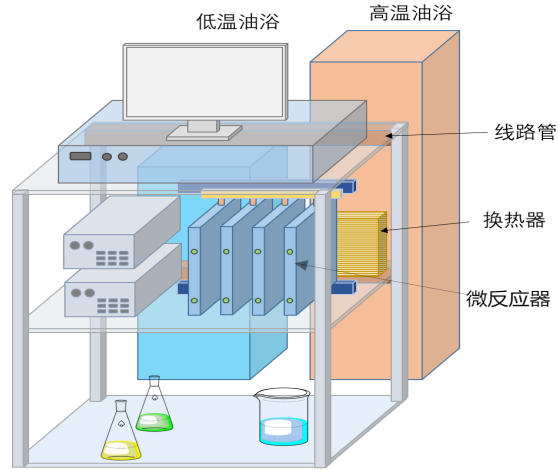


图 2 微反应器控制系统主要组成

如图 2 所示，整个微反应器控制系统由：高低温油浴、线路管、微反应器、换热器组成。其温度、压力参数分布在油浴、微反应器等流程工艺上，需要对其进行校准，其方法如下：

（1）高低温油浴温度校准

油浴是控制微反应器进口的温度，主要用来提供反应条件，其温度控制相对严格，采用多通道测温仪，到达设定温度后，在油浴中布置 5 个标准的温度传感器，每隔一段时间记录一次，记录 10 次，同时记录油浴的显示温度，以 O 点为参考点得到油浴的温度偏差和均匀度为：

$$\Delta t = \bar{t}_{\text{油}} - \bar{t} \quad (1)$$

$$w = \max_{i=1}^{10} (\max(x_j) - \min(x_j)) \quad (2)$$

$\bar{t}_{\text{油}}$ 为 O 点传感器的平均值， \bar{t} 为油浴显示的平均值， x_j 为 5 个标准传感器每次测量值。

（2）微反应器的温度、压力校准

温度、压力传感器分布在微反应器的进出口和反应器本身，其平面结构示意图，如下图 3 所示：

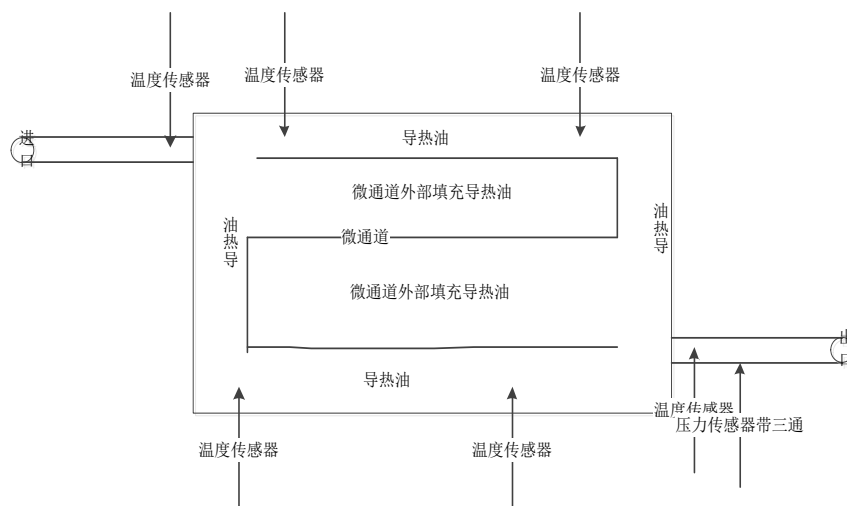


图 3 微反应器上温度、压力传感器分布

如图 3 所示，温度、压力传感器都是通过精密工艺嵌入到内部不可拆卸，其校准方法如下：

① 压力的校准。压力传感器（一般带三通）。采用直接比对的方式，压力传感器放置在标准器的被检端，标准器设定值为 t_1 ，被检传感器显示值为 t_2 ，则误差为：

$$\Delta t = t_2 - t_1 \quad (3)$$

待反应稳定时测量三次，计算每次测量压力的示值误差。

② 温度的校准。金属微反应器中的温度传感器是不可拆卸的，采用非接触式的测试方法，将 4 个标准的热电偶传感器布置在微反应器金属外表面，于被检温度传感器的大致周围位置，其分布如下图所示：

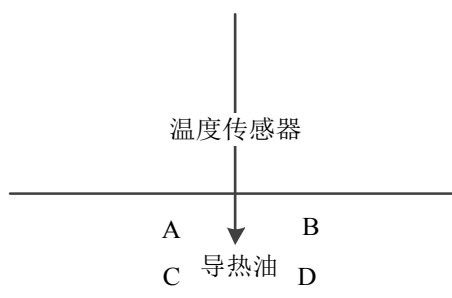


图 4 测试示意图

图 4 中，A、B、C、D 为标准传感器，待反应稳定后，每隔一段时间记录一下每个传感器的温度数据，记录 10 组数据，计算每

		<p>个传感器的平均值，同时记录被检温度传感器的数值。计算被检传感器的平均值为$\bar{t}_{\text{传}}$，4个标准传感器的平均值$\bar{t}_{\text{标}}$，最后得到温度偏差为：</p> <div>$\Delta t = \bar{t}_{\text{传}} - \bar{t}_{\text{标}} \tag{4}$</div>				
水平		<div><input type="checkbox"/> 国际先进</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> 国内先进</div>				
国内外情况 简要说明		<p>1. 与国内相关技术规范之间的关系； 经查询，T/CIET 730-2024《连续流微通道反应器控制系统技术规范》（不公开）规定了系统的基本组成和技术要求，为相关的测试方法标准。</p> <p>针对微通道反应系统拟建立一套完整的校准方法，并按照《JJF 1059-2012 测量不确定度评定与表示》给出参考不确定度评定方法。</p> <p>2. 指出是否发现有知识产权的问题，或涉及专利的情况； 经查询，本次申报的计量技术规范均不涉及国内外专利与知识产权问题。</p>				
推荐意见		<p>金属类微反应器主要应用于医药工业上的化学反应，是一种承载和监测化学反应的多参数装备。制定金属类微反应器控制系统校准规范为实现反应过程的精准控制，以及医药工业的安全发展提供技术支撑。</p>				
主要 起草 单位	(签字、盖公章) 年 月 日		技术 委员 会	(盖公章) 年 月 日	部委托 支撑 单位	(盖公章) 年 月 日

填写说明：1.表中第 2，3，11 行，请在选定的内容上填写 “☒” 的符号。
2.填写制定或修订项目中，若选择修订则必须填写被修订计量技术规范号。