

CORNING

# Corning<sup>®</sup> Advanced-Flow<sup>®</sup> Reactors

## 康宁高通量微通道反应器

从实验室工艺研发到大规模工业化生产

更安全 | 更环保

更具竞争力且无放大效应

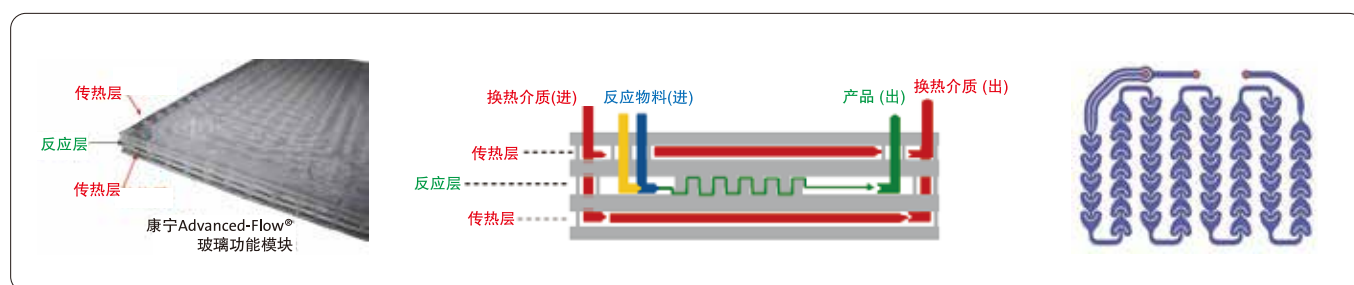
# Corning® Advanced-Flow® Reactors

## 康宁反应器技术

### 康宁高通量-微通道反应器

康宁的高通量微通道反应器是由特种玻璃或特种陶瓷材料制造，具有优秀的抗腐蚀性能，耐高温(200°C)高压(18公斤压力)，适用于多种化学反应。其独特的多层结构整体设计，使得其总换热效率和流体混合的传质性能均比传统的搅拌釜反应器高出很多倍。在多种化学合成应用中具有显著的优势：提高反应收率和产品纯度，消除安全隐患，缩短反应生产周期，减少溶剂的使用和废物的产生。能够实现从实验室工艺开发到工业化放大生产的无缝对接。

#### 康宁微通道反应器: 专利设计保证高效的传热-传质(混合)以及化学反应的集成



传热和传质指标	康宁微通道反应器	传统的夹套加热搅拌釜
单位体积换热面积, $S/V$ ( $m^2/m^3$ )	2500	2.5-10
总换热系数, $U \times (S/V)$ , ( $kW/m^3K$ )	1700	1-10
单位体积气液相介面积 ( $m^2/m^3$ )	3000-10000	100-2000
气液相传质系数( $k_a$ ) (1/s)	1-30	0.03-0.4

#### 康宁微通道反应器优势和价值 (与传统搅拌釜比较)

康宁反应器性能优势	给化学合成带来的价值
100 X 混合和传质提升	提高收率，减少溶剂，环保
1000 X 传热强化	温控准确，减少副反应，节能
1/1000 X 釜式反应器体积	本质安全，减少占地，提高效率
从实验室到工业化无放大效应	无需中试，快速市场响应，降低运营风险
高质量：耐温、耐压、耐磨、耐热冲击、耐腐蚀	性能稳定，使用寿命长，安全可靠
7/24 连续稳定运行	质量稳定，减少人工，便于实现智能化生产

# Corning® Advanced-Flow® Reactors

## 实验室工艺研发平台

### 康宁AFR® Lab反应器系统

Lab Reactor, 化学合成工艺快速筛选平台。

特点：“超级棒！好用、看得见”

- 开放的系统包括数据示踪记录，即插即用 (Plug-and-Play)
- 系统包括控温机，自动控温，迅速启动 (Read-to-Start)
- 配套1路气体进料，2路或3路液体进料，并配有背压调节控制
- 超耐化学腐蚀，物料全程无金属接触
- 高效换热和优秀的多相混合得益于康宁专利的“心型”通道设计
- 毫升级容积的反应器模块，安全且节省原材料
- 自带便携式温度控制仪
- 与康宁AFR®系列反应器无缝对接，无放大效应

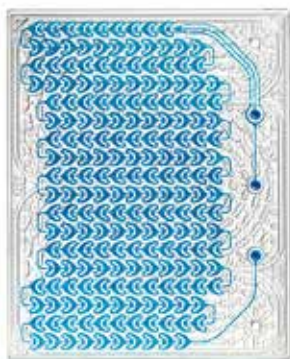


康宁AFR® 光化学流动反应器系统，具有以下特点：

- 完全匹配流动化学反应器系统
- 配有6个不同波长的LED光源
- LED光源强度高于100毫瓦/平方厘米，并可自由调节
- LED光源从玻璃模块两边均匀覆盖
- 液体冷却延长LED使用寿命
- 无线遥控光源波长和强度选择

#### 技术参数

流量	操作温度	操作压力	材质	反应模块
0-10毫升/分钟	-40°C 至 200°C	0-18巴 (表)	特种玻璃 PFA/PETE/ Perfluoroelastomer	每个模块 2.7毫升内容积



康宁专利保护的心形微通道设计

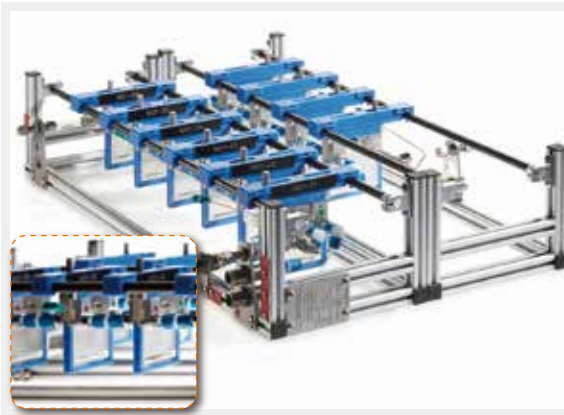


# Research & Development

## 实验室工艺研发和小批量生产方案

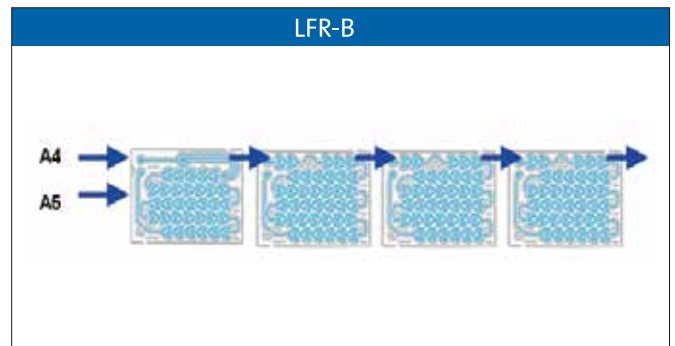
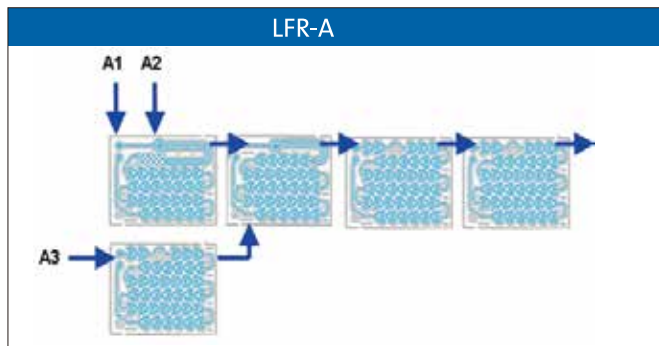
### 康宁低流量微通道玻璃反应器 (LFR)

LFR反应器适用于实验室的连续流化学合成工艺的快速筛选和优化及公斤级批量生产，具有以下特点：


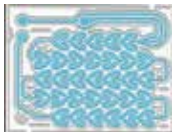



- 低流量: 0-10毫升/分钟, 化学原料消耗少
- 高度灵活性: (1) 工艺模块重组方便;  
(2) 反应器A和B可分开使用或结合在一起使用
- 反应管路无金属接触: 优秀的耐腐蚀性能
- 独特的反应器设计: 卓越的传质和传热效率
- 温度范围: -25°C 到200°C , 最高压力: 18 公斤压力
- 放大效应: 无放大效应, 易升级放大
- 可视性: 玻璃反应器可视性强, 易于清洁, 可用于光化学反应

#### LFR 反应器流程



#### LFR 玻璃功能模块参数

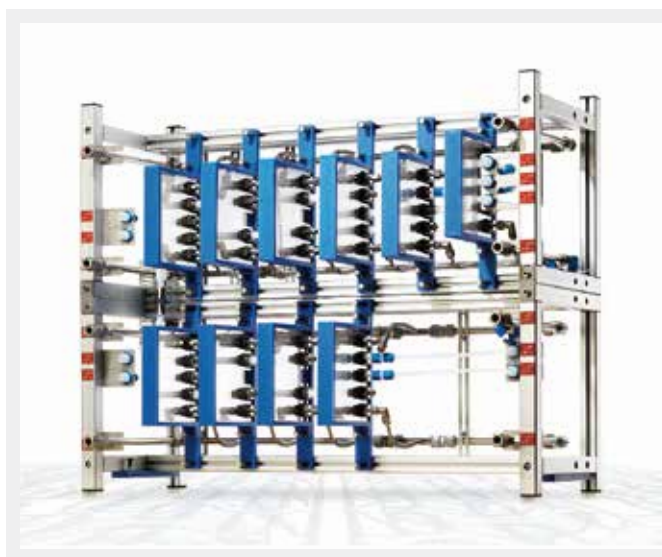
	LF-RTH				LF-SJH				LF-SJI			
温度(°C)	用于停留时间 (在5mL/min时为5秒) 或者 用于预热/预冷 与换热配合				2个进料注射口以及 停留时间区 (在5mL/min时为5秒) 与换热配合				2个进料注射口以及 停留时间区 (在5mL/min时为5秒) 与换热配合			
												
反应层内容量	0.45ml				0.45ml				0.45ml			
反应层压降 (单位bar, 密度1000g/L)	粘度(cp)	流速(mL/min)			粘度(cp)	流速(mL/min)			粘度(cp)	流速(mL/min)		
		2	5	10		2	5	10		2	5	10
	1	0.11	0.4	1.2	1	0.14	0.45	1.3	1	0.12	0.39	1.1

# Research & Development

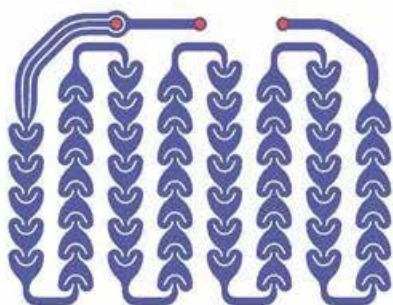
## 康宁为实验室工艺研发和小批量生产提供的方案

### 多功能工艺合成和优化平台: G1玻璃反应器

G1 反应器适用于实验室规模的连续流化学合成工艺的快速筛选和优化, 以及吨位级的小批量合成生产, 并具有以下特点:



- **流量范围宽:** 15-250毫升/分钟。适合数百种化学工艺的开发和优化, 多用途“公斤级”和“几十吨”的批量生产
- **耐腐蚀性能强:** 反应物料管路无金属接触, 可以耐各种化学品 (氢氟酸, 氟气, 强碱高温条件除外)
- **温度和压力范围广:** -60°C到200°C, 进口压力 (表压) 最高18公斤
- **操作方式灵活:** 可进多股物料。可进行多个温区控温。上下2台反应器可分开单独使用, 也可以串联使用
- **康宁反应器技术可提供G1-10FM和G1-6FM两种反应器系统**



非均相混合和/或反应模块 (G1 SHH)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 用于非均相体系的混合和反应区 (均相也可)</li> <li>• 用于反应停留时间 (5.0 秒@ 100 毫升/分钟)</li> <li>• 上下两面均有热交换板层</li> </ul>			
模块持留量 (毫升)	8.2			
通道层的压力降 (巴) @ 流体比重 1000 克/升	粘度 (厘帕)	流速(毫升/分钟)		
		100	60	20
	1	0.8	0.3	0.07
	5	1	0.5	0.1
	50	4.2	2.4	0.8



# Research & Development

## 为连续流光化学工艺研发和批量生产打造的平台

### 康宁Advanced-Flow® G1 光化学反应器

康宁在Advanced-Flow®反应器技术方面的成功为连续流光化学合成领域带来了技术突破。康宁Advanced-Flow® G1光化学反应器是基于康宁 Advanced-Flow® G1 反应器和专门设计的高效光源系统，确保光化学合成能够在分布非常均匀的紫外光照射下，取得：

- 更好的反应性能
- 更高的收率
- 更优的生产效率
- 更均匀地吸收通过反应器通道的光能

康宁Advanced-Flow® G1光化学反应器一方面能够满足用户对光化学反应以及特定光源的要求，另一方面让用户享受 Advanced-Flow® 反应器优秀的换热和传质性能带来的收益。



- 可提供多波长阵列的可调LED紫外线光源
  - 365 nm    - 385 nm    - 405 nm
  - 485 nm    - 610 nm    - 4000 k
  - 可根据要求提供其它波长
- 玻璃模块两侧照明
  - 高效的光透率
- 可变光强度的LED光源
  - 通常高达100 毫瓦 /平方厘米
- 安全运行
  - 低温紫外照明技术
- 高效的液体冷却延长了LED使用寿命
- 稳定的光源性确保了实验的可重复性

#### 优势

- 高效工艺开发和中试生产平台
- 可以串联多达5个反应模块
- 多达10个可以独立控制的LED 阵列
- 流量范围: 10 to 150 毫升/分钟
- 压力范围: 最高可达 18 公斤
- 从G1光化学反应器开发的工艺，可以在康宁G3光化学反应器上实现无缝放大

# Research & Development

## 超强耐化学腐蚀性能，适用于连续工艺开发和规模生产

### 康宁 Advanced-Flow® G1 碳硅陶瓷反应器

康宁G1碳硅陶瓷反应器具有广泛的抗化学腐蚀性能—包括处理氢氟酸和在高温下的强碱体系。

G1碳硅陶瓷反应器进一步强化了康宁反应器的传质和换热性能，能够按照客户要求和康宁G1玻璃反应模块灵活组合，进一步扩展康宁G1反应器使用功能。

#### 反应器组件

康宁G1碳硅反应器是由碳硅反应器模块，铝合金热交换模块，PFA管线及全氟橡胶垫片构成。



- 流速范围：30到200毫升/分钟
- 单个模块内部持液体积10毫升左右
- 反应路径无金属接触
- 高度的灵活性
- 康宁G1反应器工艺到G4反应器规模化生产放大效应
- 可以提供超高的传热性能

#### 优势

- 广泛的抗化学腐蚀性能—包括能处理氢氟酸和在高温下的强碱体系（温度可达 200°C）
- G1玻璃反应器模块和G1碳硅反应器模块可以灵活装配组合。组合后的反应器保留了玻璃反应模块的“可视性”和“可进行光化学反应”的特点，而且碳硅反应模块可用于反应淬灭和强腐蚀步骤（如强碱中和等）

#### 边界条件

操作条件	反应层	热交换层
温度（度 °C）	-10 到 200	-60 到 200
压力（表压巴 barg）	可高达 18	可高达 6

# Research & Development

## 超强耐化学腐蚀性能，适用于连续工艺开发和规模生产

### 康宁 Advanced-Flow® G2 碳硅陶瓷反应器

康宁AFR®品牌G2碳化硅 (SiC) 微通道反应器，具有卓越的混合传质和换热功能。该反应器耐各种化学品的腐蚀性，包括氢氟酸和强碱-高温体系。

康宁G2反应器采用了独特的“可打开”模块设计，以使用户在特殊情况下，拆装清洗和检查。

康宁G2反应器具有较高的模块持液体积，流量范围宽，可适用于小试工艺开发和中试以及规模化批量生产。



- 可以有4个进料口和一个淬灭（冷却）区
- 两个温控区
- 每个反应器模块的持液体积约30毫升
- 反应路径非金属接触
- G2反应器工艺可直接在康宁G4 AFR® 反应器 (年通量2000吨) 上放大，无放大效应
- 独特的模块化设计

#### 优势

- 可以兼容各种有机化学品及无机酸碱，对强碱-高温和氢氟酸具有特别好的处理能力
- 单个碳化硅模块可以打开清洗
- 工艺开发平台，中试和规模生产设备
  - 流速范围：50 to 580 毫升/分钟
  - 最高反应器压力可达18公斤

#### 边界条件

操作条件	反应层	热交换层
温度 (度 °C)	-10 到 200	-10 到 200
压力 (表压巴 barg)	可高达 18	可高达 6



# Industrial Production Reactors

## 康宁为您提供不同规模的工业化生产用反应器

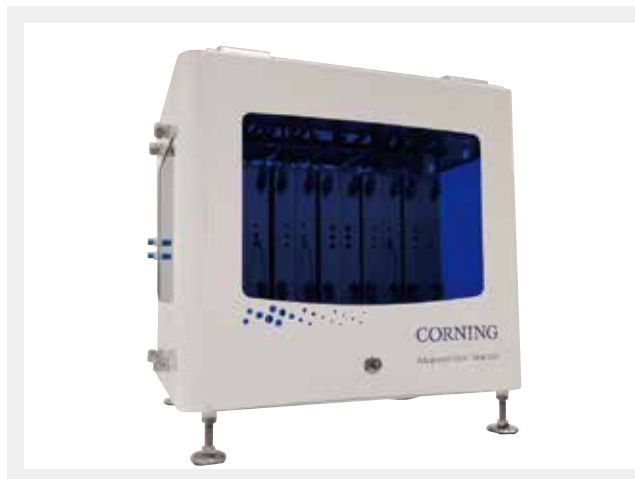
### 康宁高通量微通道玻璃反应器(G3)

G3反应器适用于大规模化学品连续化生产，并具有以下特点：



- 年流体通量高达1000立方米(吨)
- 根据工艺要求灵活组合反应模块
- 透光性玻璃适合光化学反应
- 反应管路无金属接触，具有优秀的耐腐蚀性能
- 独特的反应器设计，具有卓越的传质和传热效率
- 温度范围：-25℃到200℃，最高压力：18公斤
- 可以从G1反应器等效放大到G3反应器

G3光化学反应器适用于大规模光化学反应的连续化生产



- 年通量可达1000立方米(吨)
- 配合康宁特制LED光源用于光化学规模生产
- 有六种单一波长可供选择
- 可以从康宁G1光化学反应器工艺无缝放大
- 玻璃模块两侧照明 – 高效的光透效率
- 高效的液体冷却延长LED使用寿命
- 稳定的光源确保生产的稳定性
- 温度范围：-25℃到200℃，最高压力：18公斤

### 康宁为不同规模的工业化生产提供相应的反应器技术方案



Lab光化学反应器  
– 工艺快速筛选 – 公斤级产品



G1光化学反应器  
– 工艺研发 – 批量可达80吨年通量



G3光化学反应器  
– 无缝对接 – 可达1000吨年通量

# Industrial Production Reactors

康宁为您提供不同规模的工业化生产用反应器

## 康宁高通量微通道陶瓷反应器(G4)

G4反应器适用于大规模化学品连续化生产，并具有以下特点：

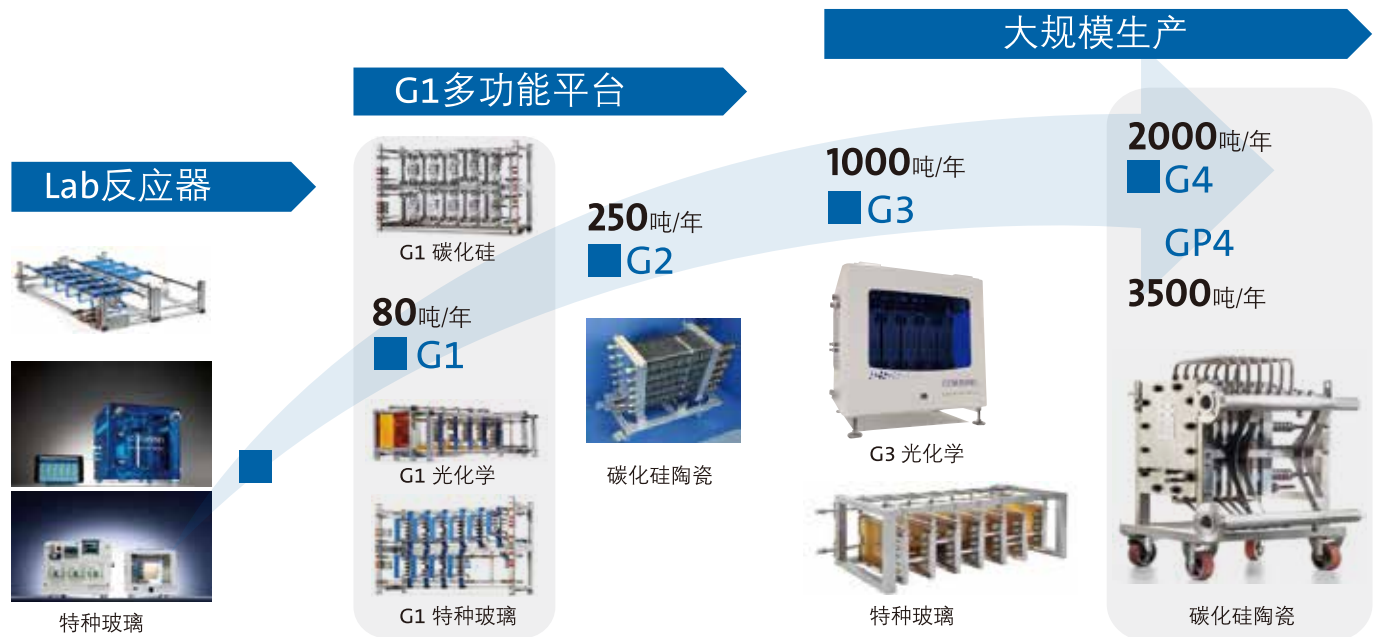


- 年流体通量高达2000立方米(吨)
- 根据工厂环境设计，进一步节省占地面积
- 反应管路无金属接触，具有优秀的耐腐蚀性能
- 独特的反应器设计，具有卓越的传质和传热效率
- 温度范围：-25℃到200℃，最高压力：18公斤
- 可以从G1反应器等效放大到G4反应器



康宁提供G4反应器整套装置和全面的工程服务

康宁AFR®提供从入门教学工艺研发工业化生产全周期解决方案



## Corning Successful Applications

# 康宁AFR® 2000吨连续工业化示范结果:G1平台和G4工业化无缝对接 —— G4工业化成功应用案例

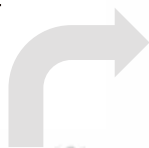
### 传统釜式工艺：工艺极危险，单耗高

康宁AFR连续工艺：

- 相同的产能，反应器物料体积减少1000倍
- 连续可控，安全可靠，减少劳动力



G1到G4  
无放大效应

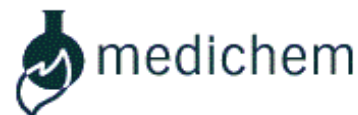


G4连续化生产工艺特点：

- G4单台年通量2000吨
- 收率99.8%，无放大效应
- 持液体积小，安全性大大提升
- 第一个样品就完全合格
- 操作人员节省75%
- 开停装置更加方便

## 西班牙摩迪康公司采用康宁AFR® G4反应器实现原料药API规模化生产

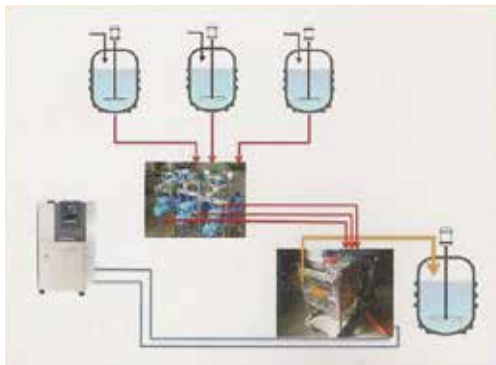
### 传统釜式低温工艺：难放大，选择性差，收率低



摩迪康公司 (Medichem S.A.西班牙) 已经利用该连续流工业生产装置进行了多批金属有机化合物API的cGMP生产，并成功重现批次的稳定结果。康宁在该项目实施过程中提供了一站式的解决方案，包括提供符合ATEX防爆标准的自动进料系统和康宁G4生产规模反应器。

AFR-G4连续化生产工艺特点：

- 高效换热
- 优秀的混合效率
- 提高选择性
- 低温反应无放大效应
- G4单台年通量2000吨
- 设备可移动



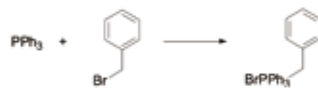
# Corning Successful Applications 康宁Advanced-Flow® 高通量微通道反应器 —— 康宁Lab反应器应用案例

## 康宁Lab反应器应用案例一：在提高压力下，加快反应进行

设备: 拥有1个模块的Lab Reactor



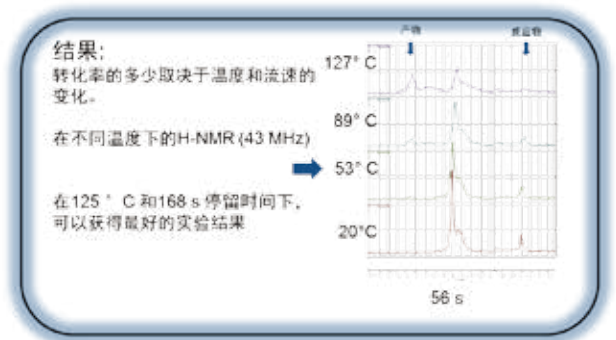
示例反应: 合成叶立德盐



Adapted to flow from J. Med. Chem.  
2012, 55, 5760-5773

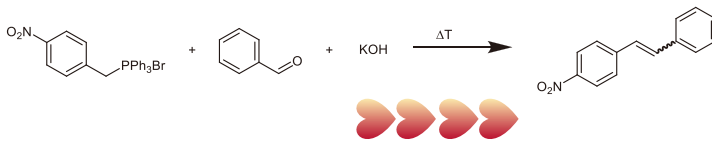
连续流实验:

两种溶液使用相近的流速泵入反应模块(例如每个泵设置流速为1mL/min), 可通过改变反应的流速和温度来优化反应, 获得最优转化率。

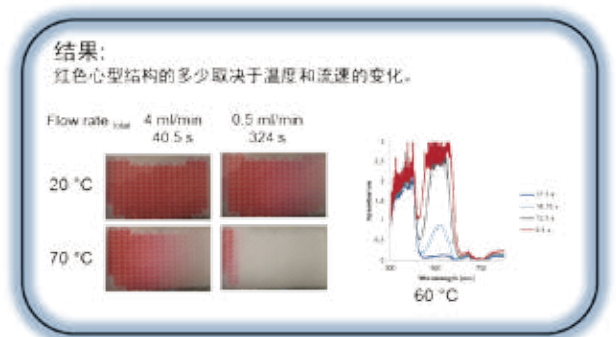


## 康宁Lab反应器应用案例二：控制反应的停留时间和温度

示例反应: 叶立德反应

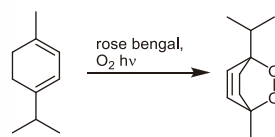


Adapted from: Analyst, 2001, 126, 7-10



## 康宁Lab反应器应用案例三：气/液反应

设备: 拥有光化学设备的Lab Reactor



Org. Process Res. Dev. In press DOI:  
10.1021/acs.oprd.7b00212

连续流实验:

打开4000K LED, 将背压阀(BPR)调至5 bar, 设置换热器为20 °C, 将氧气流速设置为10mL/min(0.044 mmol/min), 物料1 设定入不同的流速, 改变氧气的流速来寻找最佳条件。



# License & Achievement

## 康宁Advanced-Flow® 高通量微通道反应器

### —— 荣获多项证书，并受国内外知识产权保护

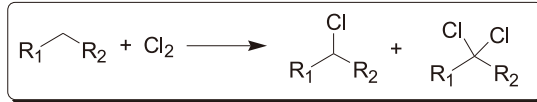
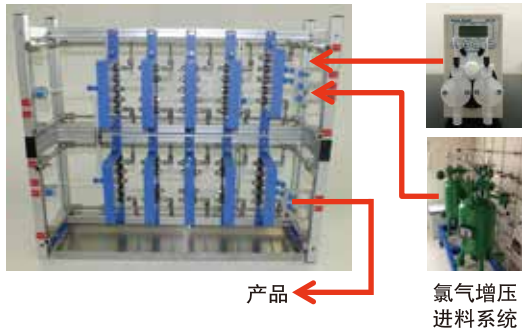


# Corning Successful Applications

## 康宁Advanced-Flow® 高通量微通道反应器

### ——成功应用案例

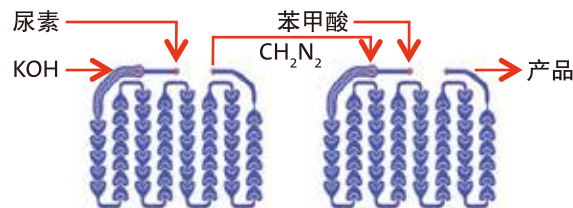
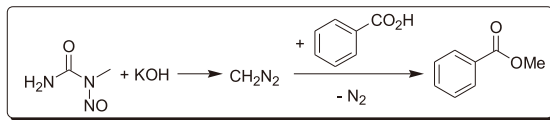
#### ■ 氯化反应范例：精确控制温度和反应时间，显著提高反应选择性



氯化反应是农化等精细化工领域常见的反应类型。但是，通常存在选择性差，氯气过量多，收率不高等问题。用连续流改造的工艺，将从工艺参数和安全环保上起到本质改善。

	氯气摩尔当量	反应温度	反应浓度	反应时间	收率	选择性
釜式	1.06	-10	20%	70分钟	70%	少量二氯杂质
AFR	1.01	4	40%	5秒	84%	无二氯杂质

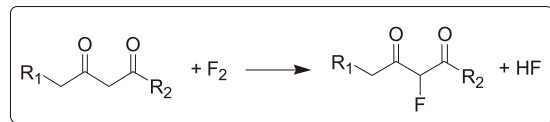
#### ■ 重氮甲烷使用范例：在线生成，在线消耗，避免危险中间体的储存运输



重氮甲烷是高度活泼的甲基化试剂。但是其毒性高，稳定性差。这些均限制了其在工业界的应用。如果采用连续化的思路进行工艺再开发，在线生成重氮甲烷，并在线将其消耗，将有效降低上述安全和环保的潜在风险。

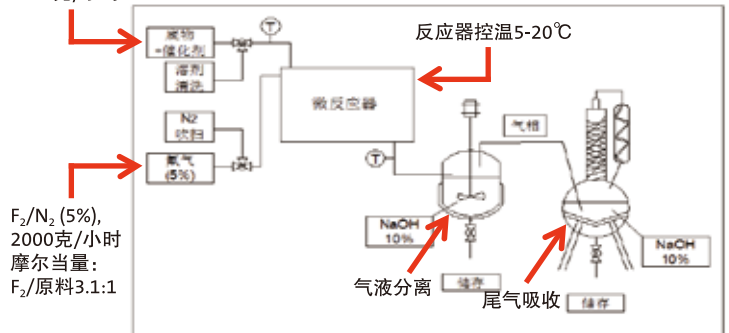
该反应在传统搅拌釜上的收率为75%，使用康宁反应器连续流工艺，获得了大于95%的收率。

#### ■ 氟化反应使用范例：使用耐腐蚀碳化硅陶瓷反应器，连续安全



氟气极其活泼，其直接参与反应时很难控制选择性。常用的方法是先氯化，再用氢氟酸氟化。采用连续微反应器技术，为氟气直接氟化提供了便利。同时，操作也更安全，更高效。

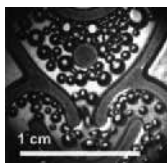
原料/溶剂(25%),  
720克/小时



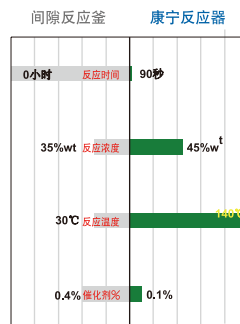
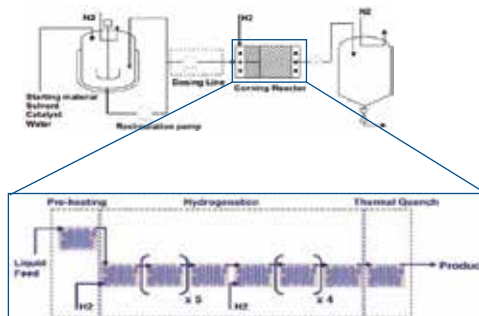
## 选择性加氢反应范例：98%以上转化率和选择性

- 强放热反应 (> 400 千卡/摩尔)
- 30微米催化剂
- 显著的催化剂用量减少

请参考: Chemistry Today 27(6),  
Nov-Dec (2009)



优秀的气液相混合

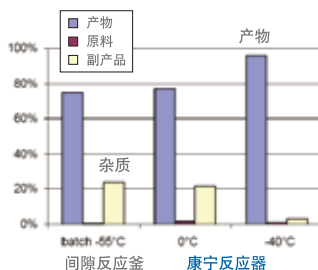


反应条件对比

## 低温金属有机反应范例：节能效果显著



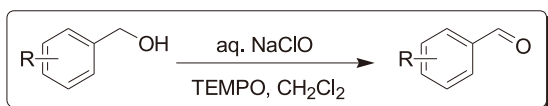
Hans-Rudolf Marti et al, "1st Symposium on Continuous Flow Reactor Technology for Industrial Applications" (October 12, 2009)



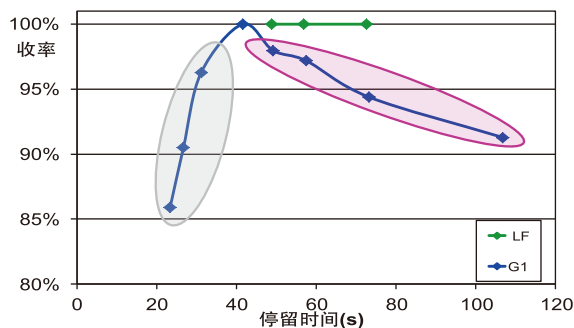
"……微反成为合理的生产敏感和不稳定中间体的方案。此技术让我们能够更好地控制热分解，同时取得理想的转化率。这些反应通常不可能用传统的方式进行。用微反应器技术大大地减少了开发这些反应的费用。另外，对普通的反应，微反应器技术可以有效地在几天内筛选出工艺条件，相反用传统的釜式反应器，一般需要几周。"

— by Siegfried

## TEMPO氧化反应范例：强化非均相液-液反应传质，大大缩短反应时间



停留时间和混合强度对该反应相互作用



两相在AFR“心型”结构中的混合效果

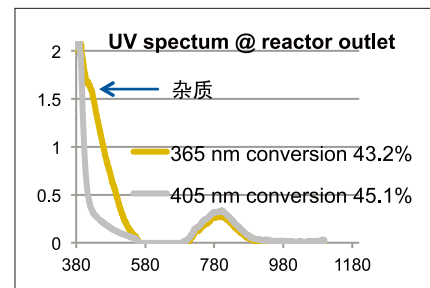
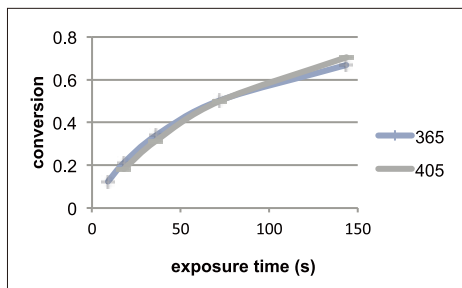
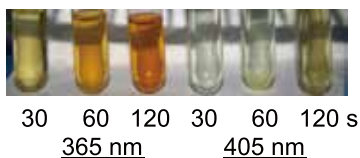
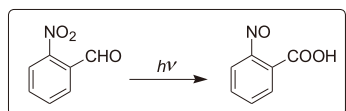


两相在普通管道式反应器中的混合效果

底物普适性考察	收率 (%)		
停留时间(s)	49	57	73
苄醇	100	100	100
2-硝基苄醇	99.1	100	100
3-硝基苄醇	100	100	100
4-三氟甲基苄醇	97.3	100	100
1-辛醇	93.2	95.5	92.5

该类反应在AFR上有广泛的适用性

## 光化学反应范例：正确波长选择，提升产品品质



365nm与405nm转化率相同，但是用405nm时，产物纯度大大提高。



## 康宁中国

康宁公司是特殊玻璃和陶瓷材料的全球领导厂商。基于160多年在材料科学和制程工艺领域的知识，康宁创造并生产出了众多被用于高科技消费电子、移动排放控制、通信和生命科学领域产品的关键技术。在过去的30多年，中国已向康宁提供了许多优秀的人才，他们的技术专长得以将康宁的创新技术引入中国市场。这一伙伴关系取得了卓越的成果。今天，康宁在大中华区的投资额已超过30亿美元，拥有5000多名员工。

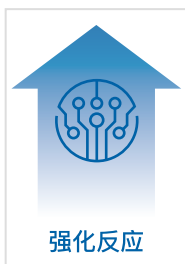
康宁通过五大业务领域不断推动着全球新一代前沿科技的发展。

- **显示科技**：改变电子消费产品形象
- **环境科技**：让空气更清洁更健康
- **光通信**：光纤通讯方案让世界紧密连接
- **生命科学**：让挽救生命的药品进入市场
- **特殊材料**：Gorilla® Glass的创新

## 康宁反应器技术与服务

康宁在常州科教城建立的康宁反应器技术中心（中国）提供以下反应器应用技术服务：

- 从研发到生产的系列反应器整套设备和工程服务
- 反应器售后服务：安装、调试、培训、示范等
- 客户团队建设：定期客户访问和深度培训
- 康宁反应器技术介绍及案例分析
- 釜式工艺在微通道反应器中的可行性探讨
- 应用工艺开发及技术转让
- 反应器演示观摩



### 北京海菲尔格科技有限公司

地址：北京市朝阳区南磨房路37号10层1008室  
电话：010-53779530 13716489005  
Email：13716489005@163.com

### 济南办公室

地址：济南市市中区中海国际公馆南区7号楼1单元2902室  
电话：0531-82977799 13305315691  
Email：13305315691@163.com



扫描微信二维码  
关注北京海菲尔格科技有限公司