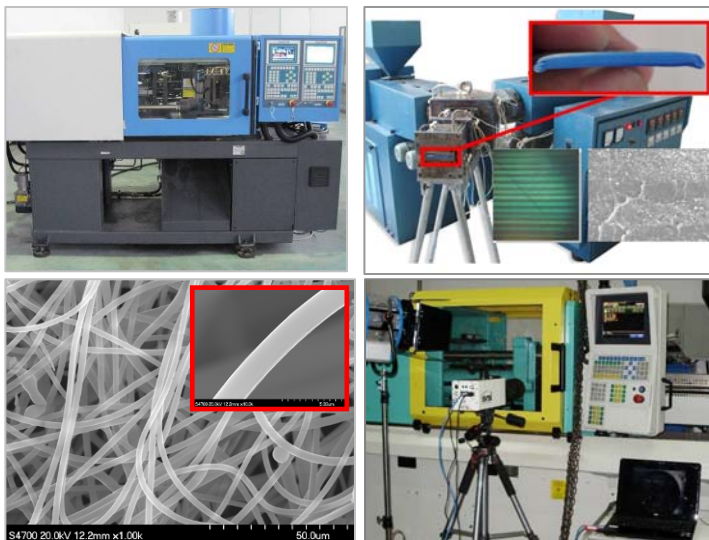


塑料精密注射成型与 先进制造技术



北京化工大学
高分子材料先进制造研究室

谢鹏程

2012.8.17 上海



高分子材料先进制造英蓝实验室

Laboratory of Advanced Polymer Processing



杨卫民 教授

研究方向：高分子材料加工成型与先进制造技术

高分子材料先进制造英蓝实验室是以高分子及其复合材料为基础，以先进制造工艺装备为核心，以创造优美宜人、资源节约、环境友好的高性能产品为目标，通过国内外交流、产学研合作、多学科交叉，培养优秀人才，产出创新成果。实验室现有多学科背景的研究人员40余人，其中教师11人，博士后、博士和硕士学位研究生30余人。实验室目前承担着“十一五”国家科技支撑计划重点项目“塑料精密注射成型工程技术的研发”、国家自然科学基金项目“高分子熔体微分注射成型原理及设备的研究”等课题，瞄准生物医学工程、通讯电子、车船飞机、能源环保和国防军工等领域的应用前景开展研究。

实验室学术带头人杨卫民教授曾任北京化工大学机械工程学院院长，2000.10~2002.9年国家公派赴日本东京大学做博士后，先后访问美国、德国、瑞士、英国、法国、意大利、俄罗斯、澳大利亚等国数十所大学、研究院所和跨国公司总部的实验室，现任北京化工大学教授、北京市重点“机械设计及理论”学科负责人，青岛科技大学“泰山学者”特聘教授，中国塑料加工工业协会专家委员会副主任，中国塑料机械工业协会专家，中国橡胶机械工业协会专家，机械工业出版社咨询专家。



集天下大成 育华夏英才 创天工奇技 造世间名物

传道授业 培养人才

- 一 学位层次：本科、硕士、博士、博士后全系列培养；
- 二 学科专业：机械工程、化工过程机械、高分子材料等学科；
- 三 国际合作：美国、德国、日本等国外著名大学联合培养；
- 四 实践锻炼：研究期间在国内外骨干企业进行实践锻炼。

传播知识 服务社会

英蓝电子期刊：《塑料加工进展》、《橡胶加工进展》、《节能减排进展》

英蓝学术论坛：新材料加工技术，注射成型技术，节能减排技术；

英蓝讲堂：《注射成型可视化》教程、《计算机辅助设计与制造》教程、《材料加工与先进制造工艺学》教程；

英蓝论著：在国内外学术期刊和学术会议发表论文180余篇，著作6本、译著8本。

研究探索 创造发明

已有30余项专利技术可转让使用权：

- (1) 基于PVT的精密注塑机 (专利号：2009100935249)
- (2) 高分子材料PVT测试装置 (专利号：2007100634613)
- (3) 微分注塑机 (专利号：2008102272414)
- (4) 纳米纤维熔体静电纺丝技术 (专利号：2008101054018)
- (5) 两端进料宽幅片材挤出机头 (专利号：2007201492668)
- (6) 多层复合平带成型加工装置 (专利号：2009100801244)
- (7) 超高速注射成型机 (专利号：2009100935234)
- (8) 微发泡注射成型机 (专利号：2008102392670)
- (9) 等容积置换四缸直锁三板机 (专利号：2009100878053)
- (10) 混炼注射成型机 (专利号：2008100562431)
- (11) 混合驱动全电动注射成型机 (专利号：2008102272429)
- (12) 精密注射成型螺杆 (专利号：200710100143X)



英蓝：华夏英才的碧海蓝天

塑料精密注射成型与 先进制造技术

目 录

-  1. 塑料精密注射成型与先进制造技术
-  2. 塑料精密注射成型可视化技术及应用
-  3. 高分子材料先进制造的“微积分”方法

1. 塑料精密注射成型与先进制造技术



高分子材料加工制造业



原料

前处理

干燥
混合
混炼
.....

成型

挤出成型
注射成型
旋塑成型
复合成型
.....

后处理

交联
硫化
连接
整形
.....

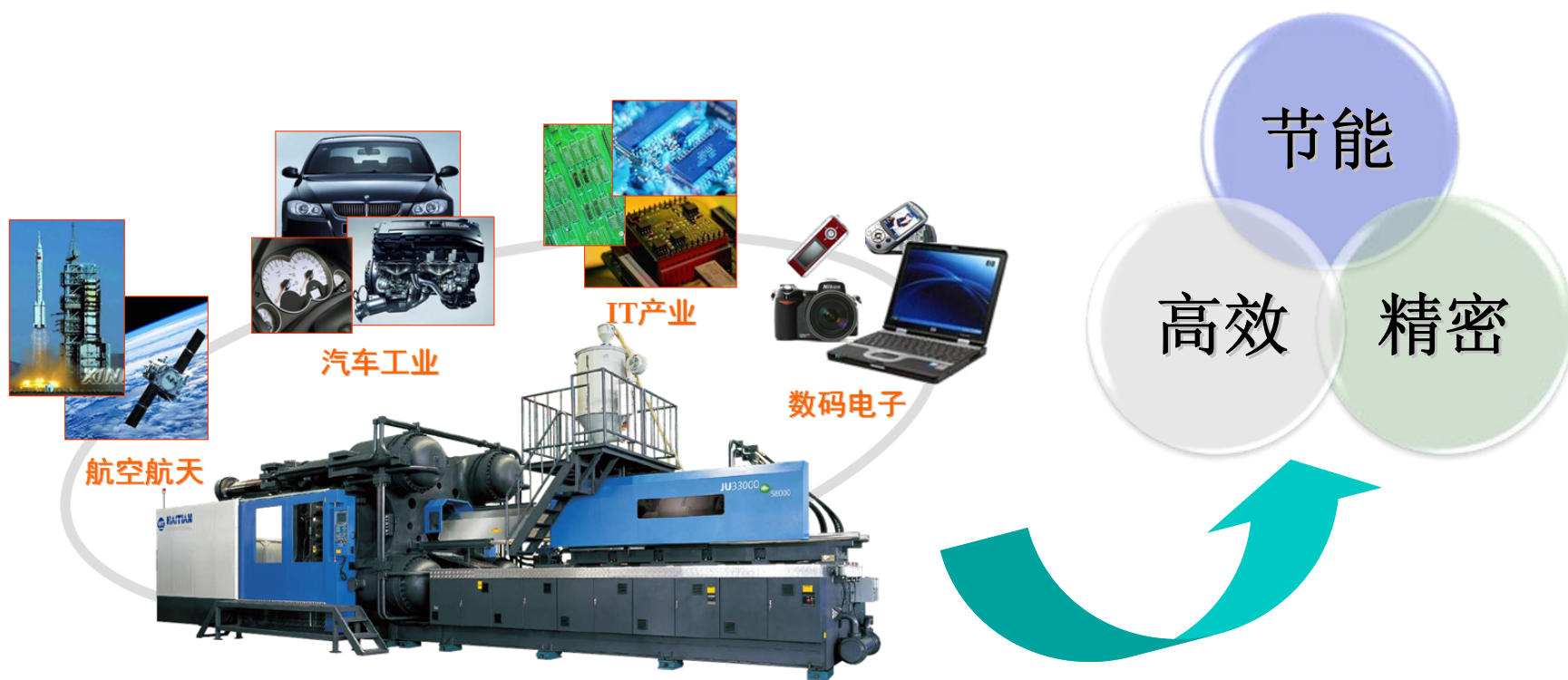


制品



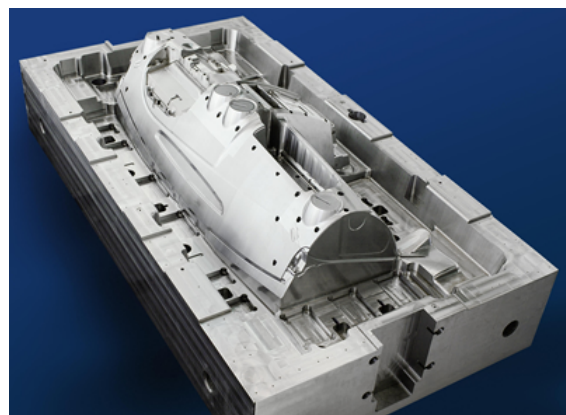
1. 塑料精密注射成型与先进制造技术

塑料制品的 *e* 制造技术



1. 塑料精密注射成型与先进制造技术

制造的基本要求：精度如何保障？



材料 $\xrightarrow[\text{试模修模}]{\text{CAE}}$ 制品



1. 塑料精密注射成型与先进制造技术

高分子材料 **e** 制造的基础

连续性方程: $\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v}) = 0$

动量方程: $\rho \frac{D\mathbf{v}}{Dt} = -\nabla P + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau} + \rho \mathbf{g}$

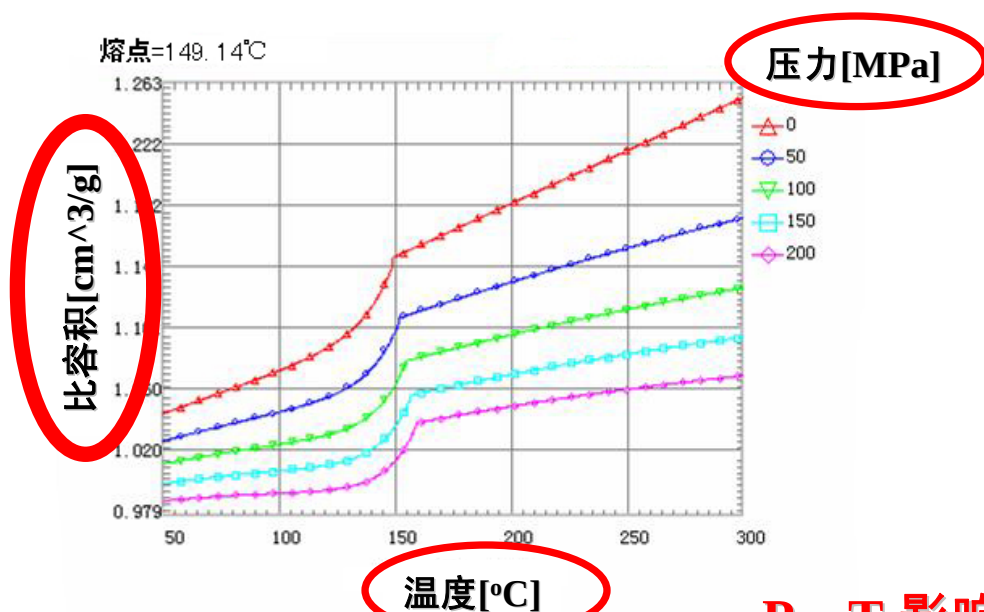
能量方程: $\rho C_v \frac{DT}{Dt} = -\nabla \cdot \mathbf{q} - T \left[\frac{\partial P}{\partial T} \right]_{\hat{v}} (\nabla \cdot \mathbf{v}) + \boldsymbol{\tau} : \nabla \mathbf{v} + \dot{S}$

需要实验测试确定: 粘度、**PVT**关系等

现有的测试方法和手段可靠吗?

1. 塑料精密注射成型与先进制造技术

塑料PVT特性是成型过程中**压力P**和**温度T**对塑料**比容积V**的影响规律。由于比容积V的变化会引起成型制品质量和形状尺寸变化，因而PVT特性也是模塑成型精度控制的关键。



塑料PVT关系曲线

P、T 影响
V 变化

并非“一模一样”!

1. 塑料精密注射成型与先进制造技术



聚合物**PVT**状态方程：模塑成型精度的关键，
例：Tait状态方程 却长期被人们所忽略！

$$V(T, P) = V_0(T) \left\{ 1 - C \ln \left[1 + \frac{P}{B(T)} \right] \right\} + V_1(T, P) .$$

当 $T < b_5 + b_6 P$ 时，

$$\begin{cases} V_0 = b_{1s} + b_{2s}(T - b_5) \\ B(T) = b_{3s} \exp[-b_{4s}(T - b_5)] \\ V_1 = b_7 \exp[b_8(T - b_5) - b_9 P] \end{cases}$$

当 $T > b_5 + b_6 P$ 时，

$$\begin{cases} V_0 = b_{1m} + b_{2m}(T - b_5) \\ B(T) = b_{3m} \exp[-b_{4m}(T - b_5)] \\ V_1 = 0 \end{cases}$$

共有13个未知参数需要测试，才能建立PVT方程！
(得到关系曲线)

1. 塑料精密注射成型与先进制造技术

聚合物**PVT**状态方程：模塑成型精度的关键，
却长期被人们所忽略！

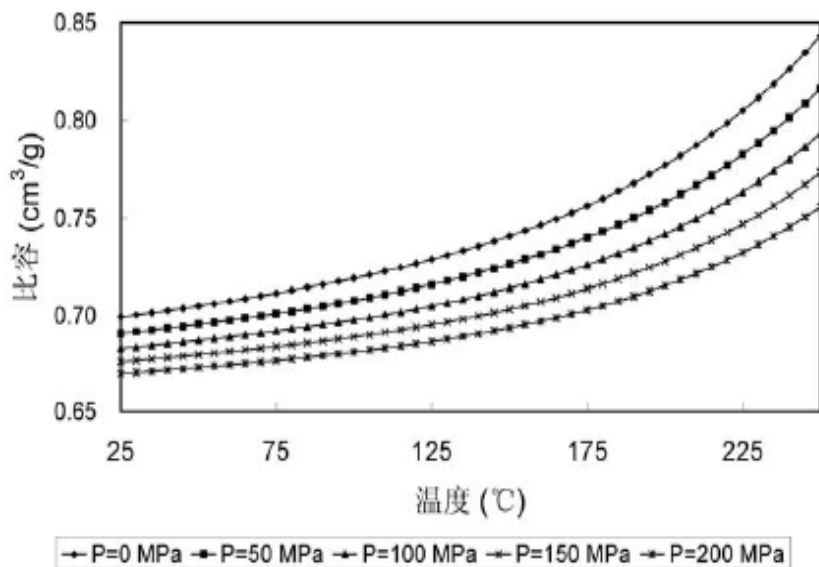


图 3-14 PA 66 (PA66-33% GLASS FIBER) 的 PVT 关系曲线图
Fig. 3-14 PVT diagram of PA 66 (PA66-33% GLASS FIBER)

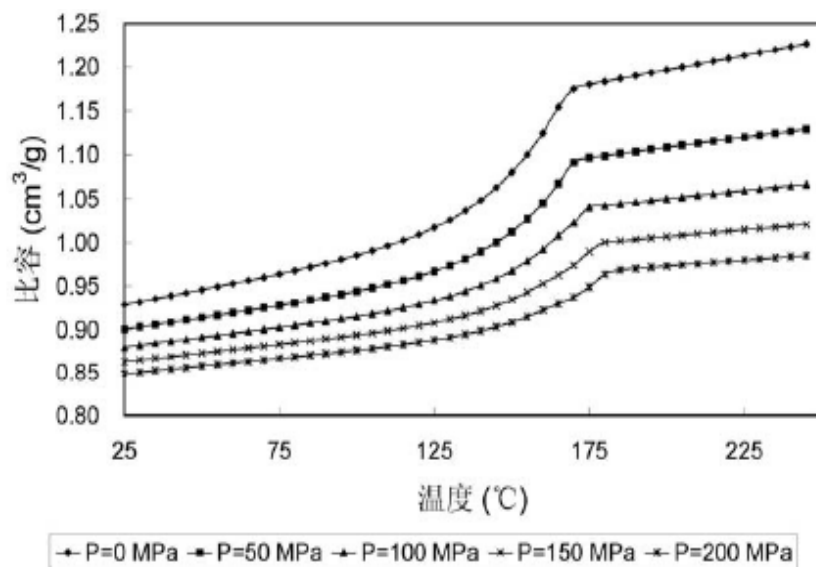
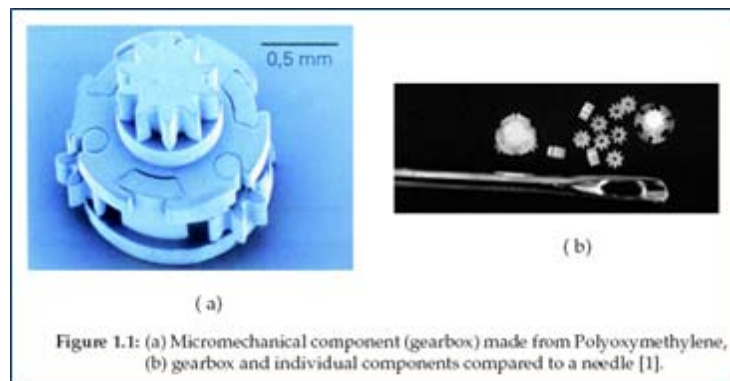
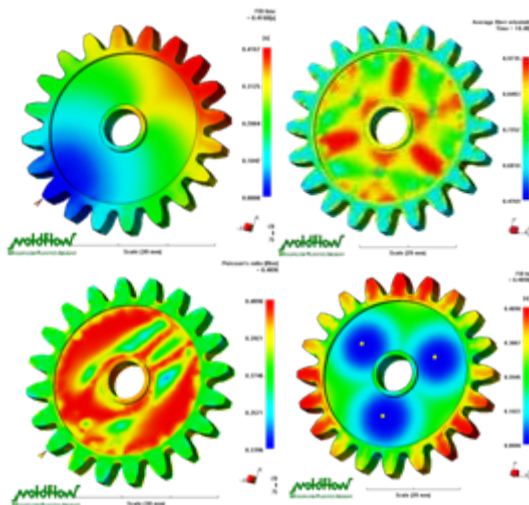
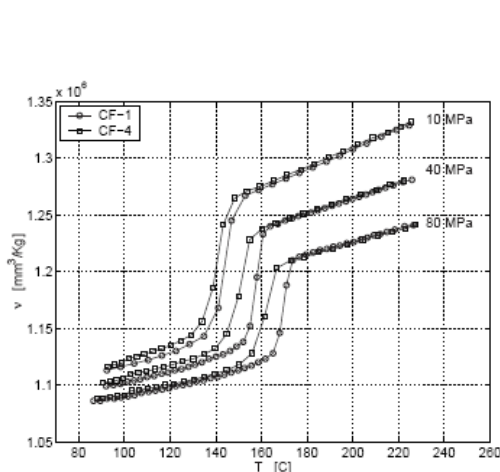
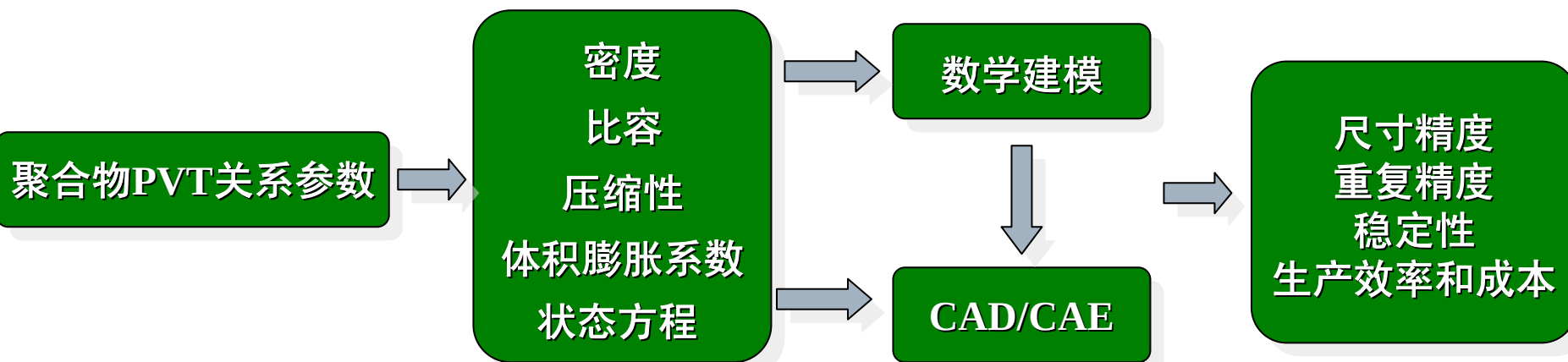


图 3-15 PP (PP-21% TALC) 的 PVT 关系曲线图
Fig. 3-15 PVT diagram of PP (PP-21% TALC)

1. 塑料精密注射成型与先进制造技术



1. 塑料精密注射成型与先进制造技术

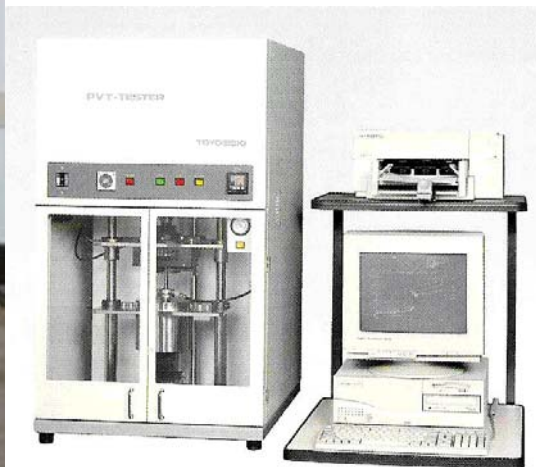
1.1 高分子材料PVT参数测试技术的研究



同类技术:

1. 德国SWO公司制PVT-100分析仪
2. 日本TOYOSEIKI公司制PVT测试仪
3. 美国Gnomix公司的PVT高压膨胀计

共同特点: 离线测试, 圆柱形样品, 精度不高!

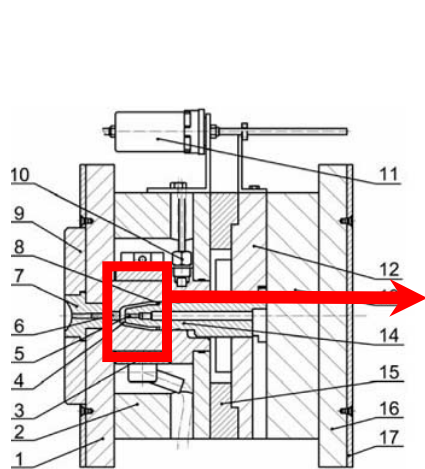


1. 塑料精密注射成型与先进制造技术

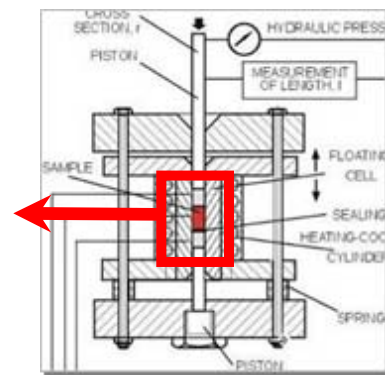
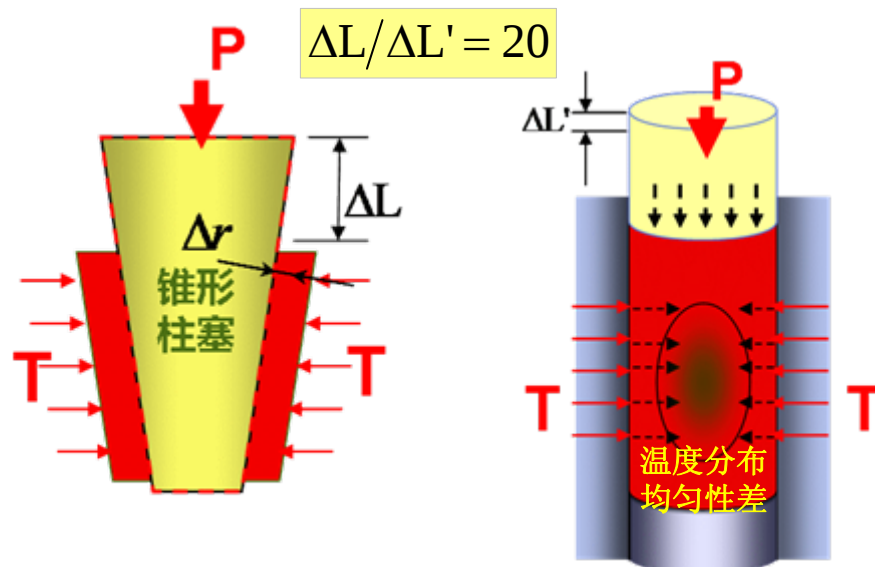
1.1 高分子材料PVT参数测试技术的研究

发明了塑料PVT在线测试方法及装置，在测量原理和方法上创新采用**薄壁锥筒形**试样取代**圆柱体形**试样，与国外离线测试相比：

- 1) 反映比容积变化的位移量被**放大20倍**，
- 2) 温度和压力变化**响应快、分布均匀**。



本发明**在线测试**

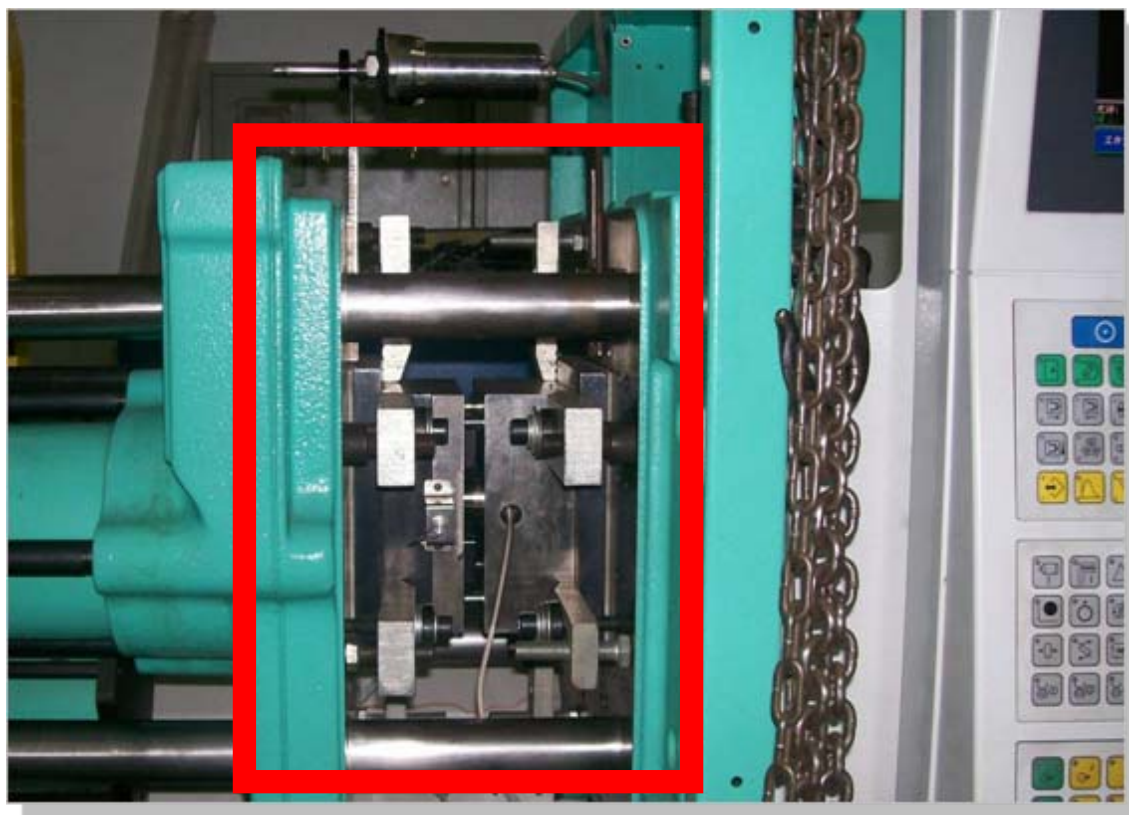


国外**离线测试**

1. 塑料精密注射成型与先进制造技术

1.1 高分子材料PVT参数测试技术的研究

北京化工大学发明的塑料PVT在线测试系统



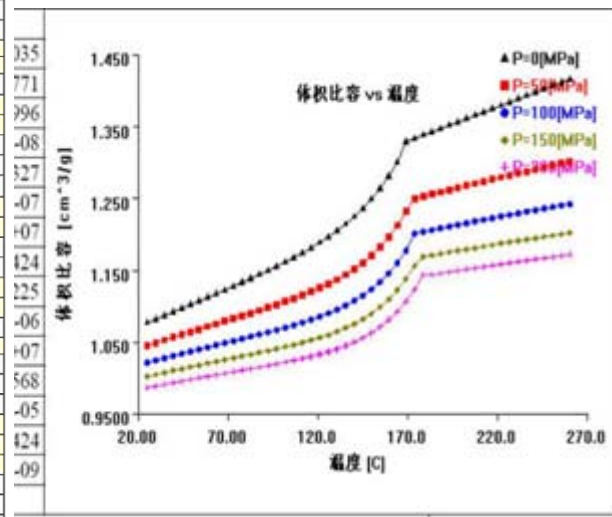
1. 塑料精密注射成型与先进制造技术

1.1 高分子材料PVT参数测试技术的研究

利用本技术，成功为广州金发、北京燕山石化、天津亚美化工等国内材料厂商提供商业测试服务,建立了工程塑料PVT特性关系数据库，为塑料精密成型装备的PVT在线控制奠定了基础。



材料系列	材料品种	规格牌号
汽车用聚烯烃系列产品	保险杠	ABP-2116 ABP-1010 ABP-1012 ABP-1507 ABP-1520 ABP-2018
	仪表盘/内饰	AIP-1509 AIP-2015 AIP-2503 AIP-0011 AIP-1025 AIP-1609 AIP-1530
	发动机周边	PP-KF06 PP-KF08
阻燃HIPS	DECA/无卤	FRHIPS-113 FRHIPS-301 FRHIPS-1162 FRHIPS-702 FRHIPS-722
	NON-DECA	FRHIPS-930, FRHIPS-960, FRHIPS-980, FRHIPS-351, PTHIPS-8002
	普通/高亮	HIPS-5197 HIPS-4418
改性PC	普通级	PC-S923 PC-S809 PC-S609 JH830 JH830T JH830P JH830G
	阻燃级	JH830-R310 R315 R320 JH830-R210 R215 R220 JH720-R2GXX
	光反射级/增强级	MAC-101 MAC-S01601/701/751/801 MAC-201/301 MAC-401/451
PC/ABS合金	通用级	JH950-402/502/602 JH-R0GXX, JH-R2GXX
	阻燃级	JH960-6100 JH960-6300/6800/6200 JH960-6111
	无卤阻燃级	LONLOY-1200 LONLOY-2100 LONLOY-6100
PC/聚酯合金	通用级	LONLOY-3010 LONLOY-7550
	增强级	LONLOY-3010 LONLOY-7550
	透明级	LONLOY-3010 LONLOY-7550
阻燃ABS	DECA/高流动	HF-610 HF-618 HF-210/HF-606
	耐燃/无卤阻燃	HF-630 HF-230/NH-627
	通用级	HF-010/HF-126 HF-220 HF-332 HF-332/TF-100
改性ABS	阻燃级	HR-527 HR-527A HR-527B HR-528/HC-110
	耐燃级	JE2-R0 JE2-R2 JE2-R0GXX JE2-R2GXX
	通用级	JE2-R0 JE2-R2 JE2-R0GXX JE2-R2GXX
ABS/PBT合金	通用级	PBT-R0GXX PBT-R0GXX PBT-R0GXX PBT-R0GXX
	增强级	PBT-R0GXX PBT-R0GXX PBT-R0GXX PBT-R0GXX
	透明级	PBT-R0GXX PBT-R0GXX PBT-R0GXX PBT-R0GXX
PVC/ABS合金	PVC/ABS合金	PA66-PM-0, HPL0Y-PM-0, VSL0Y-PM-0
	普通级	PA66-C200 PA66-C112/PA66-GXX
	阻燃级	PA66-R0GXX, PA66-RPGXX, PA66-NPGXX
改性PA66	阻燃级	PA66-R0GXX, PA66-RPGXX, PA66-NPGXX
	增强级	PA66-R0GXX, PA66-RPGXX, PA66-NPGXX
	透明级	PA66-R0GXX, PA66-RPGXX, PA66-NPGXX
改性PBT	阻燃级	PBT-R0GXX PBT-R0GXX PBT-R0GXX PBT-R0GXX
	增强级	PBT-R0GXX PBT-R0GXX PBT-R0GXX PBT-R0GXX
	透明级	PBT-R0GXX PBT-R0GXX PBT-R0GXX PBT-R0GXX
改性聚苯醚	阻燃级	PPE-3311 PPE-3322 PPE-2211/GEXX
	增强级	PPE-6666/GFXN, PPE-6688/GFXN
	软胶料/高亮级	PPE-F70 PPE-F891 PPE-F845 PPE-871/PPE-3311 HG PPE-1111 HG
改性聚苯硫醚	阻燃级	PPS-GF30 PPS-GF40 PPS-GM60
	增强级	PPS-GF30 PPS-GF40 PPS-GM60
	透明级	PPS-GF30 PPS-GF40 PPS-GM60
改性PLA	PLA/PC合金	AFR-93 AFR-97 AFR-55
	PLA/PBS合金	FLEX-262 FLEX-44D FLEX-82D PBS-HRQ
	PLA/PPS合金	FLEX-262 FLEX-44D FLEX-82D PBS-HRQ



1. 塑料精密注射成型与先进制造技术

1.1 高分子材料PVT参数测试技术的研究

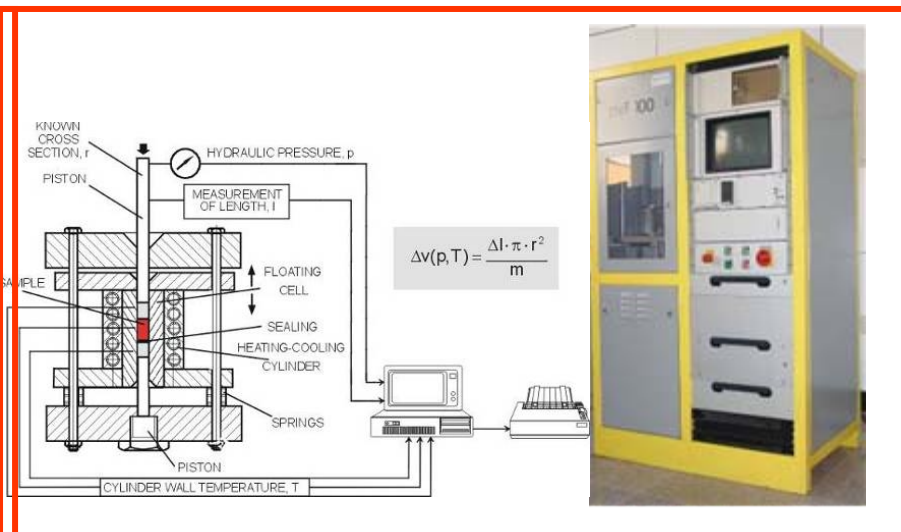
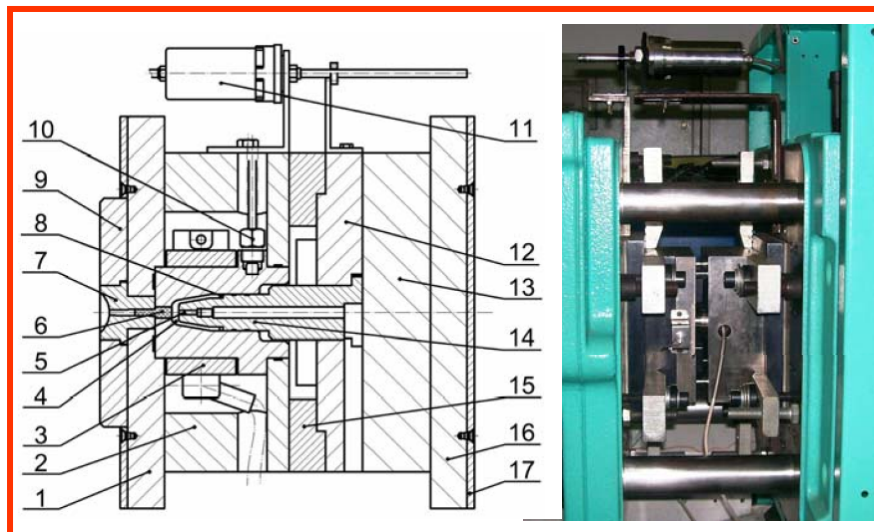
对比实验:

测试材料PP

测试仪器选用以下两种:

本发明PVT在线测试仪

德国SWO PVT 100测试仪

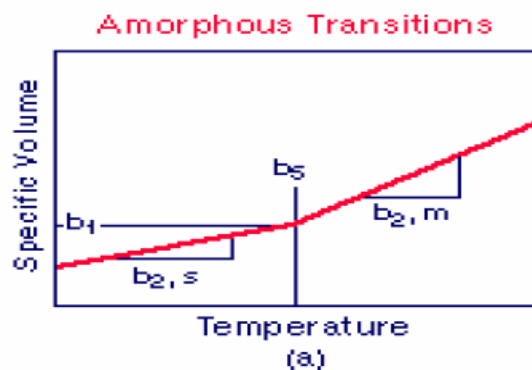


1. 塑料精密注射成型与先进制造技术

1.1 高分子材料PVT参数测试技术的研究

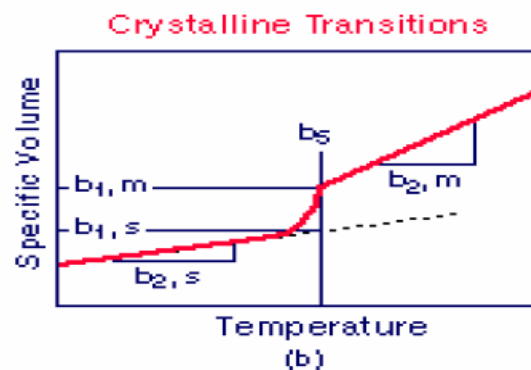
对比实验： 数学模型采用双域Tait状态方程：

$$V(T, P) = V_0(T) \left\{ 1 - C \ln \left[1 + \frac{P}{B(T)} \right] \right\} + V_1(T, P)$$



当 $T < b_5 + b_6 P$ 时,

$$\begin{cases} V_0 = b_{1s} + b_{2s}(T - b_5) \\ B(T) = b_{3s} \exp[-b_{4s}(T - b_5)] \\ V_1 = b_7 \exp[b_8(T - b_5) - b_9 P] \end{cases}$$



当 $T > b_5 + b_6 P$ 时,

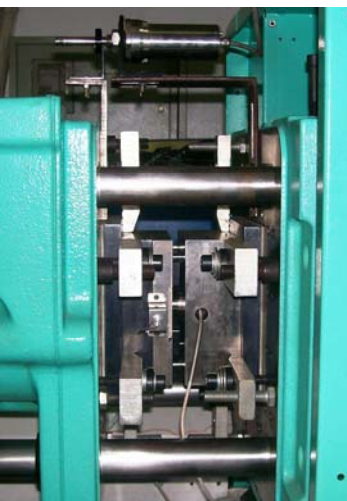
$$\begin{cases} V_0 = b_{1m} + b_{2m}(T - b_5) \\ B(T) = b_{3m} \exp[-b_{4m}(T - b_5)] \\ V_1 = 0 \end{cases}$$

1. 塑料精密注射成型与先进制造技术

1.1 高分子材料PVT参数测试技术的研究

结果比较： 两种测试方法得到的双域Tait状态方程参数值

参数	本发明	PVT-100
b_5 (K)	403	417.64
b_6 (K/Pa)	0.00000015	3.022E-07
b_{1m} (m ³ /kg)	0.001295	0.001306
b_{2m} (m ³ /(kg·K))	8.588E-07	9.019E-07
b_{3m} (Pa)	77200000	74300000
b_{4m} (1/K)	0.003487	0.004006
b_{1s} (m ³ /kg)	0.001242	0.001195
b_{2s} (m ³ /(kg·K))	9.153E-07	4.929E-07
b_{3s} (Pa)	63200000	131900000
b_{4s} (1/K)	0.006881	0.003355
b_7 (m ³ /kg)	0.00002616	0.00009623
b_8 (1/K)	0.0714	0.1338
b_9 (1/Pa)	3.355E-09	3.973E-08

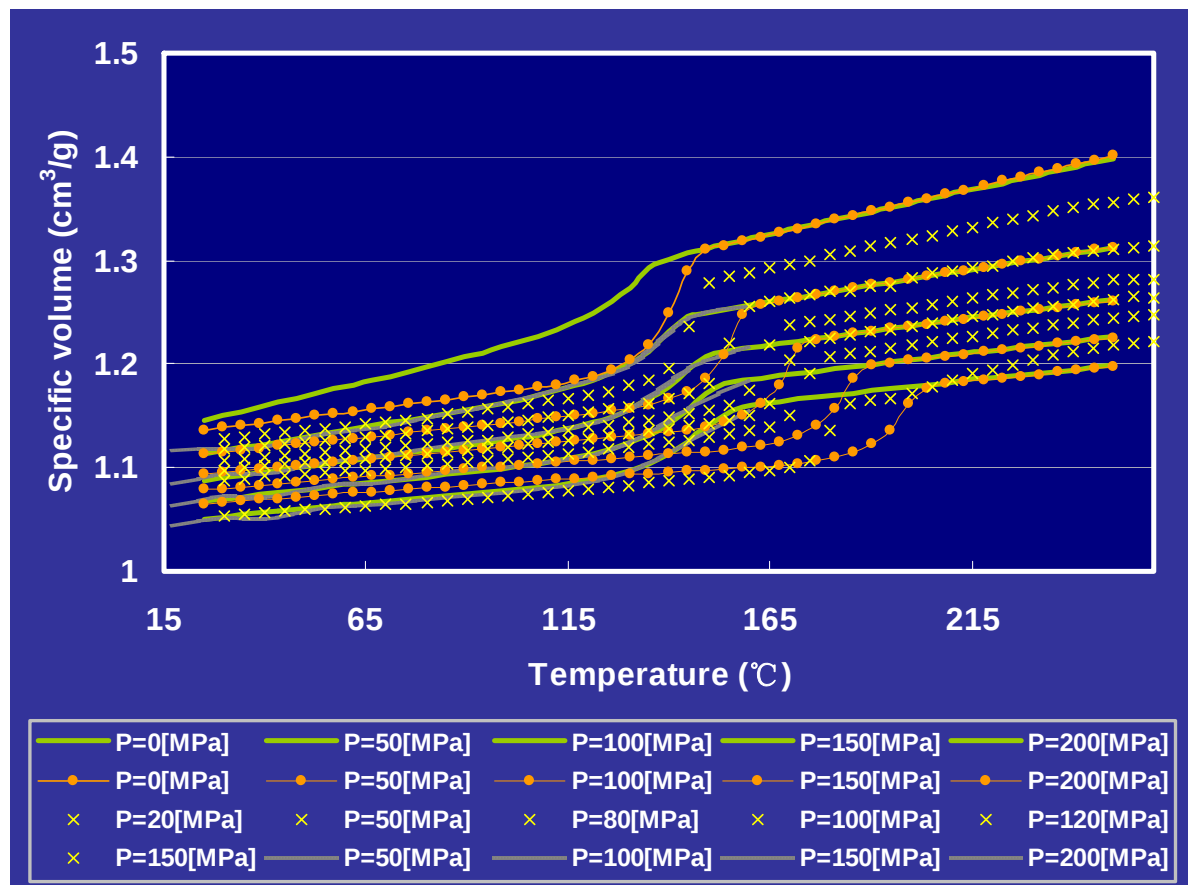


1. 塑料精密注射成型与先进制造技术

1.1 高分子材料PVT参数测试技术的研究

结果比较:

两种测试方法得到的PVT关系曲线



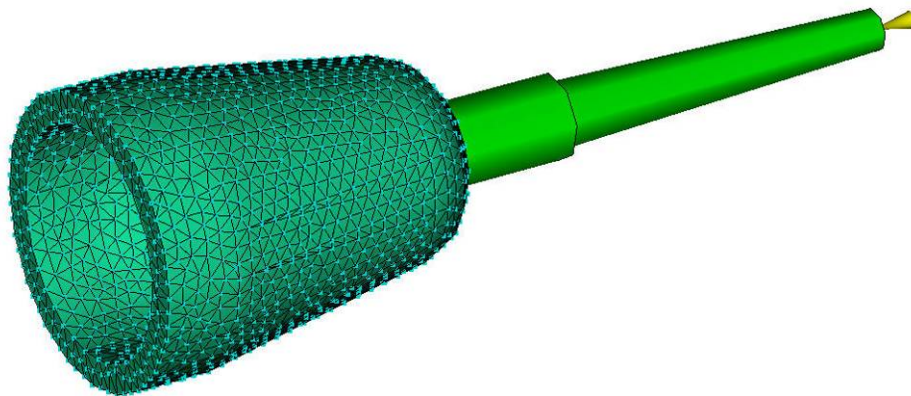
1. 塑料精密注射成型与先进制造技术

1.1 高分子材料PVT参数测试技术的研究

结果比较： 分别采用前述两种测试方法得到的PVT关系数据

CAE数值模拟

- ▶ 选用注塑成型CAE软件Moldflow;
- ▶ 为提高模拟预测的精确性, 采用3D模式;
- ▶ 采用了四面体单元, 单元总数为54338。



14

1. 塑料精密注射成型与先进制造技术

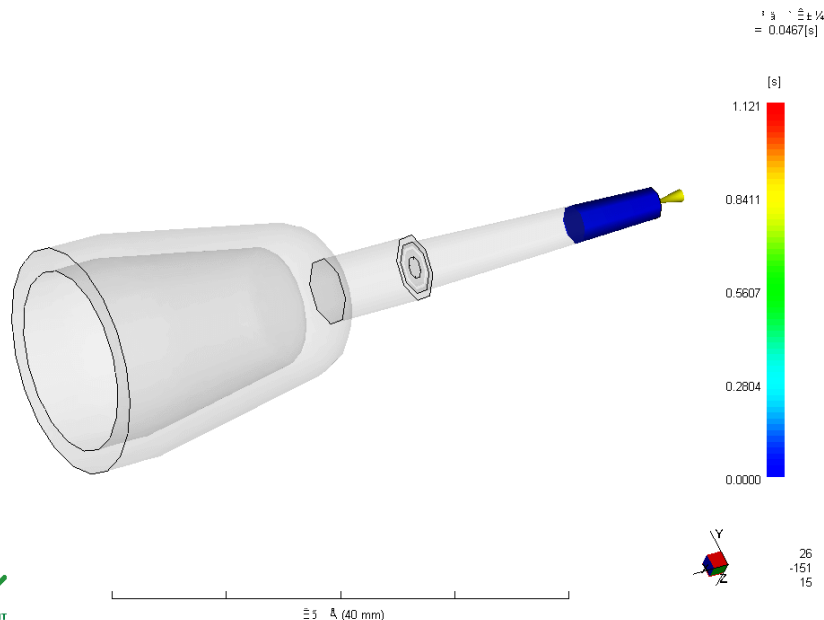
1.1 高分子材料PVT参数测试技术的研究

结果比较： 分别采用前述两种测试方法得到的PVT关系数据 **模拟分析**

主要成型工艺参数

工艺参数	数值
注射速度(cm^3/s)	30
模具温度($^{\circ}\text{C}$)	70
熔体温度($^{\circ}\text{C}$)	230
保压压力(MPa)	1.8
保压时间(sec)	10
冷却时间 (sec)	20

Moldflow
MOLDFLOW PLASTICS INSIGHT

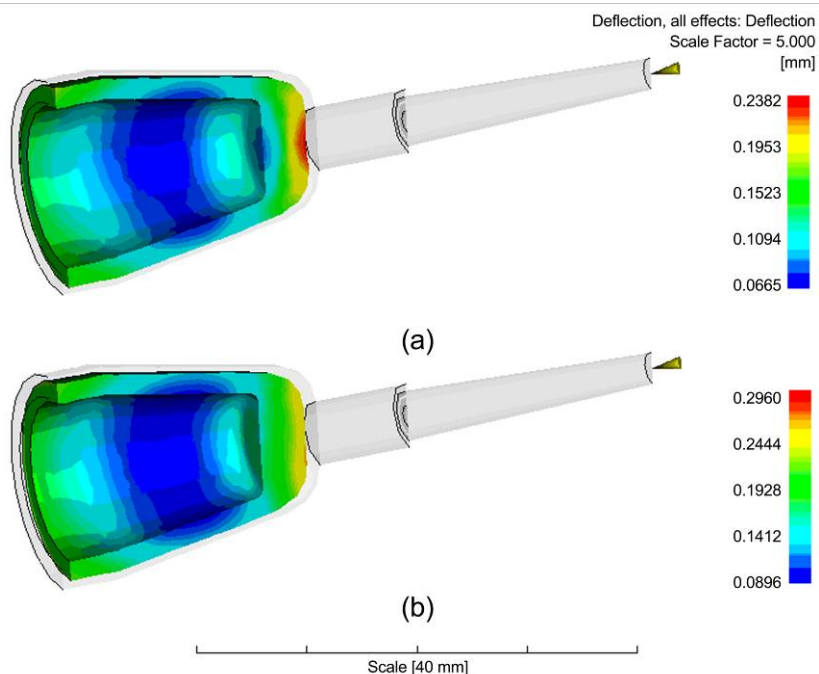


填充过程

1. 塑料精密注射成型与先进制造技术

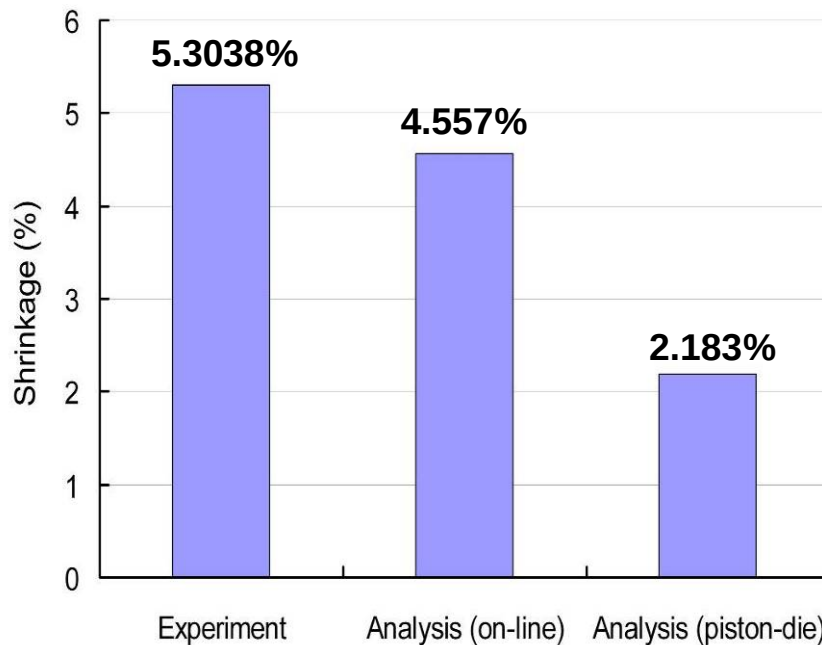
1.1 高分子材料PVT参数测试技术的研究

结果比较： 分别采用前述两种测试方法得到的PVT关系数据 **模拟分析**



收缩翘曲的数值模拟结果

- a. 采用了在线测试技术得到的PVT数据
- b. 采用了Piston-die技术得到的PVT数据



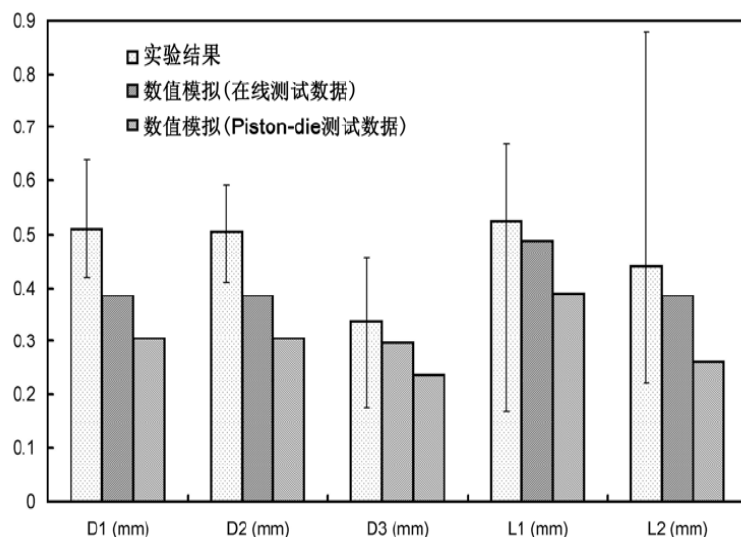
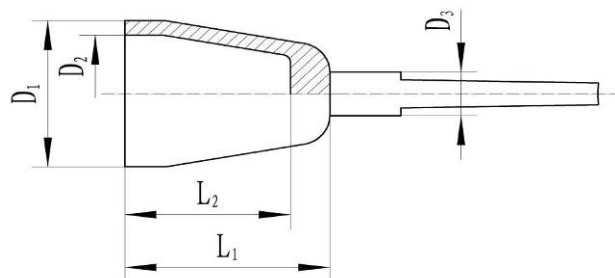
收缩实验结果与数值模拟结果的比较

1. 塑料精密注射成型与先进制造技术

1.1 高分子材料PVT参数测试技术的研究

结果比较： 分别采用前述两种测试方法得到的PVT关系数据 **模拟分析**

	D_1 (mm)	D_2 (mm)	D_3 (mm)	L_1 (mm)	L_2 (mm)
Sample 01	19.60	15.52	5.66	25.42	20.38
Sample 02	19.44	15.50	5.72	25.60	20.50
Sample 03	19.42	15.44	5.68	25.60	20.56
Sample 04	19.48	15.46	5.72	25.50	20.60
Sample 05	19.42	15.44	5.64	25.40	20.50
Sample 06	19.60	15.56	5.66	25.44	20.50
Sample 07	19.42	15.52	5.62	25.62	20.62
Sample 08	19.62	15.58	5.56	25.44	20.34
Sample 09	19.52	15.54	5.70	25.50	20.58
Sample 10	19.40	15.40	5.68	25.60	20.70
Sample 11	19.46	15.50	5.62	25.50	21.00
Sample 12	19.50	15.40	5.62	25.12	20.48
Sample 13	19.48	15.50	5.70	25.50	20.50
Sample 14	19.58	15.54	5.50	25.16	20.74
Sample 15	19.46	15.50	5.78	25.56	20.46
Sample 16	19.46	15.50	5.70	25.52	20.54
Sample 17	19.50	15.50	5.72	25.58	20.48
Sample 18	19.46	15.50	5.64	25.50	20.60
Maximum	19.62	15.58	5.78	25.62	21.00
Minimum	19.40	15.40	5.50	25.12	20.34
Average	19.49	15.49	5.66	25.48	20.56
Cavity	20.00	16.00	6.00	26.00	21.00



翘曲实验结果与数值模拟结果的比较

1. 塑料精密注射成型与先进制造技术

1.2 高分子材料注射成型PVT控制技术研究

PVT在线控制实验机

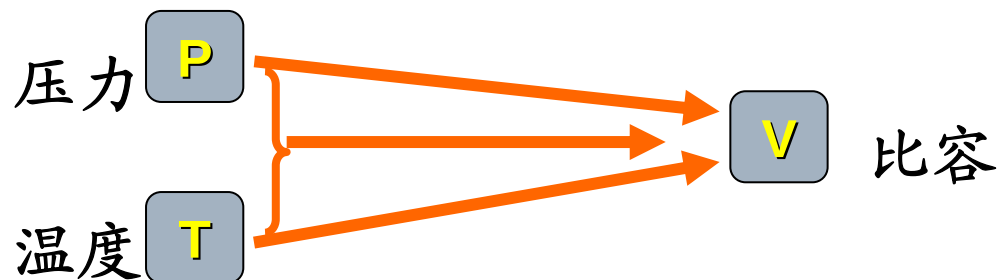
(PVT控制器 + 内循环四缸直锁两板机)



1. 塑料精密注射成型与先进制造技术

1.2 高分子材料注射成型PVT控制技术研究

PVT在线控制实验机



实验模具



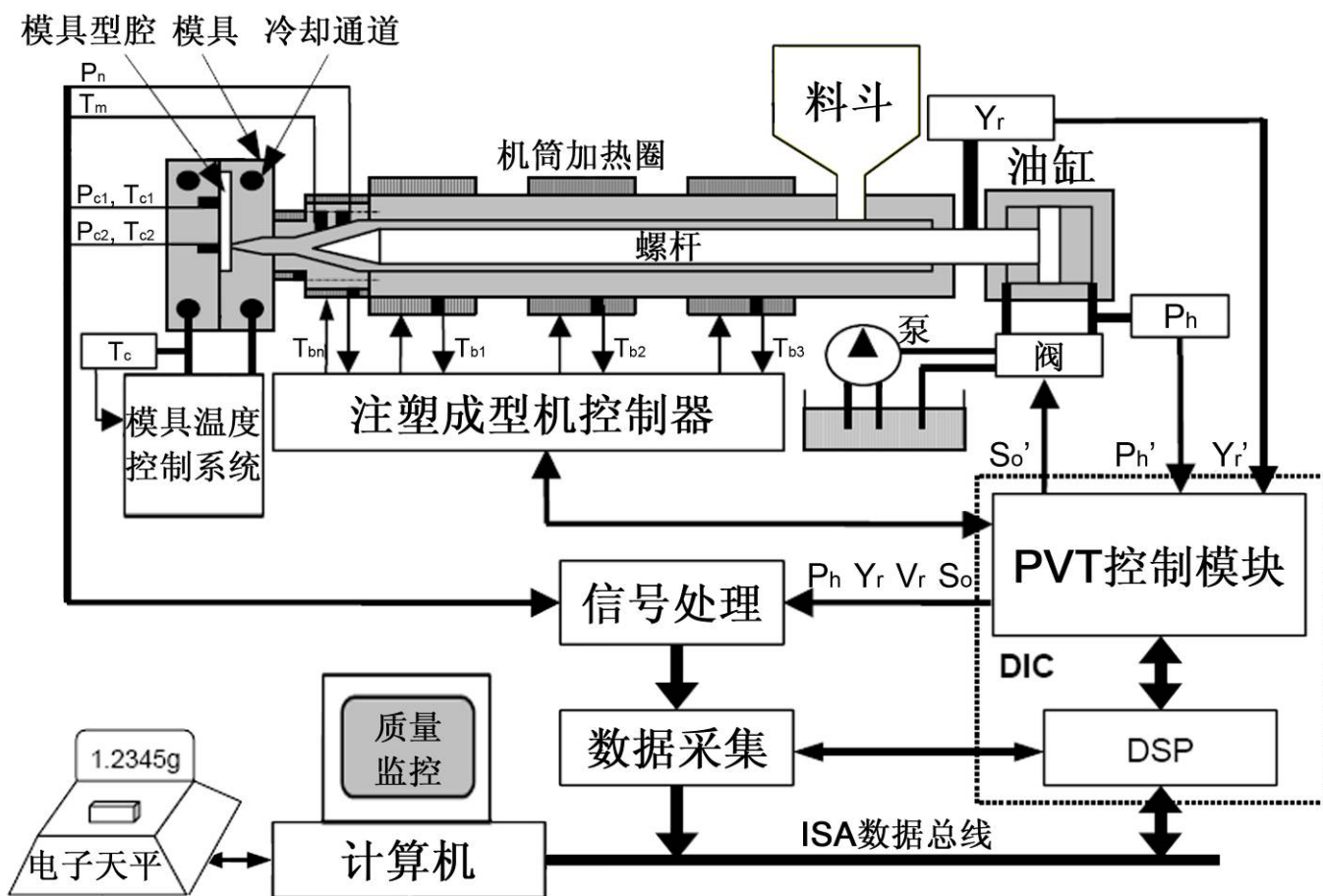
熔体压力温度传感器



1. 塑料精密注射成型与先进制造技术

1.2 高分子材料注射成型PVT控制技术研究

注射成型PVT控制原理



1. 塑料精密注射成型与先进制造技术

1.2 高分子材料注射成型PVT控制技术研究

■ 基于PVT特性的转压点与保压结束点控制实验

- | | |
|-------------------|---------------------|
| 1)时间控制转压点 | 5)模腔温度（近浇口点）控制转压点 |
| 2)位置控制转压点 | 6)模腔压力（近浇口点）控制保压结束点 |
| 3)位置时间控制转压点 | 7)模腔温度（近浇口点）控制保压结束点 |
| 4)模腔压力（近浇口点）控制转压点 | |

■ 基于PVT特性的保压过程控制实验

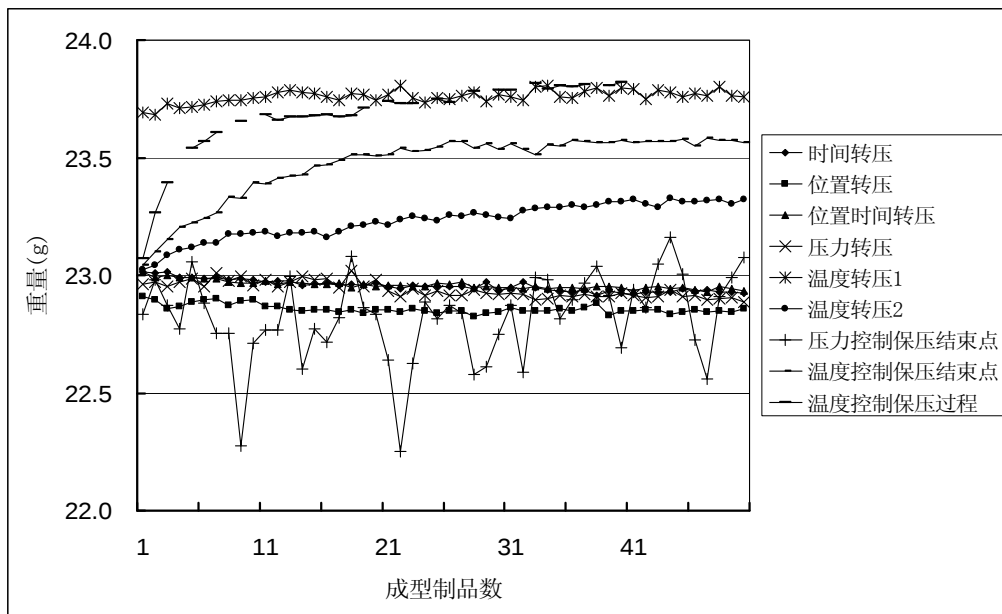
- 1)时间控制保压过程
- 2)模腔温度控制保压过程

1. 塑料精密注射成型与先进制造技术

1.2 高分子材料注射成型PVT控制技术研究

结果与讨论:

1) 控制方式对制品重量重复性的影响



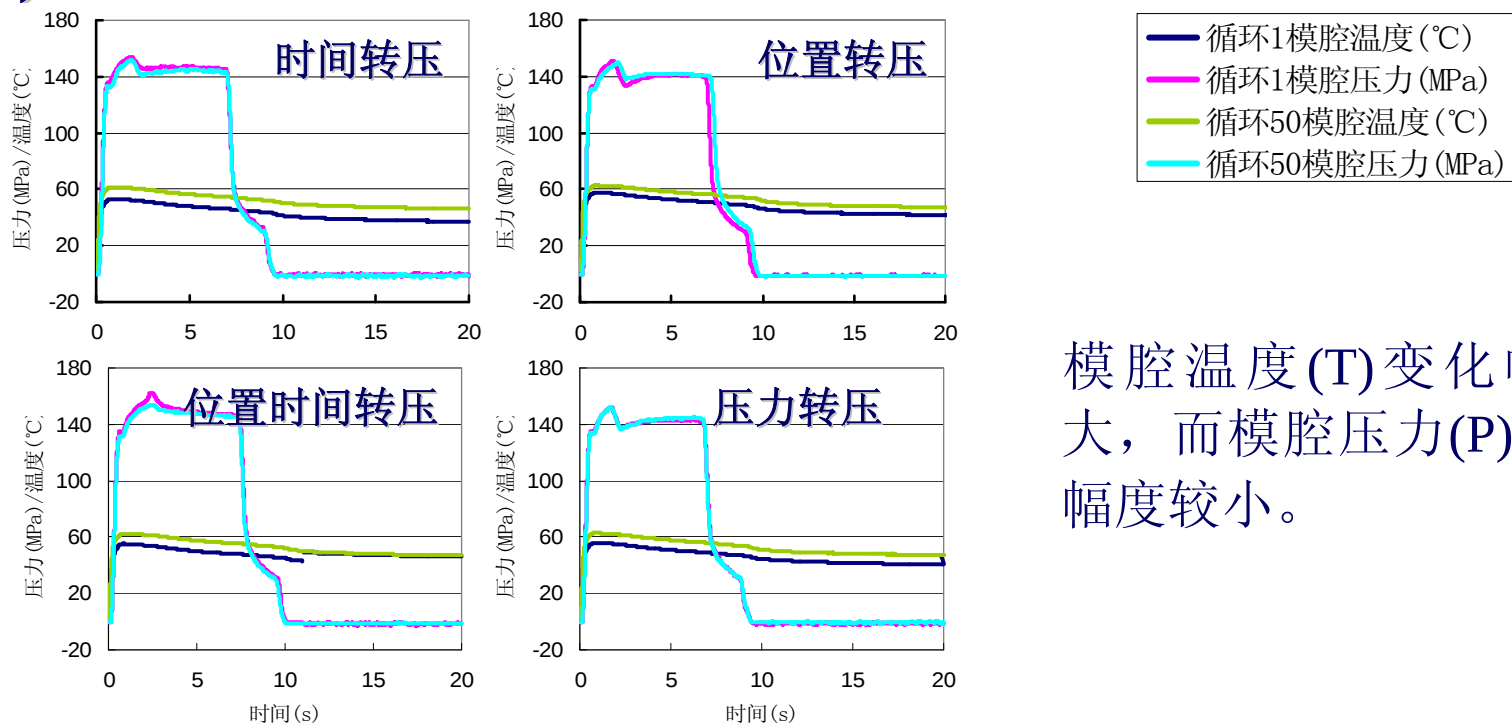
不同保压控制方式下制品
重量变化的比较

1. 塑料精密注射成型与先进制造技术

1.2 高分子材料注射成型PVT控制技术研究

结果与讨论:

2) 模腔内压力、温度监测结果



模腔温度(T)变化幅度较大, 而模腔压力(P)的变化幅度较小。

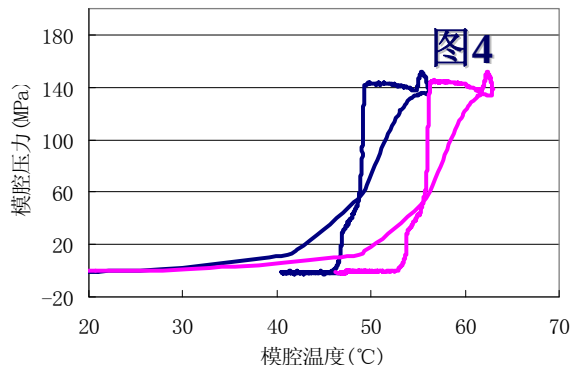
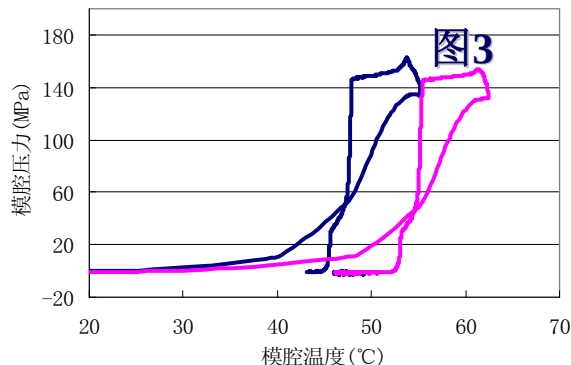
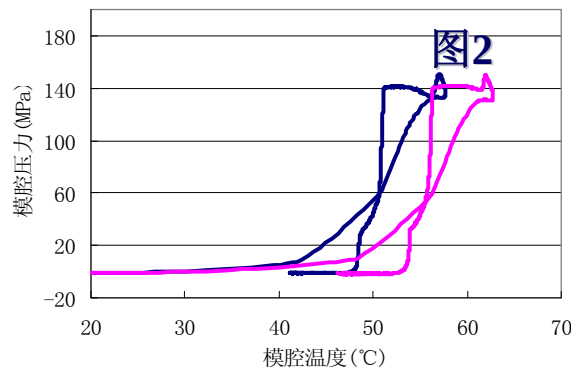
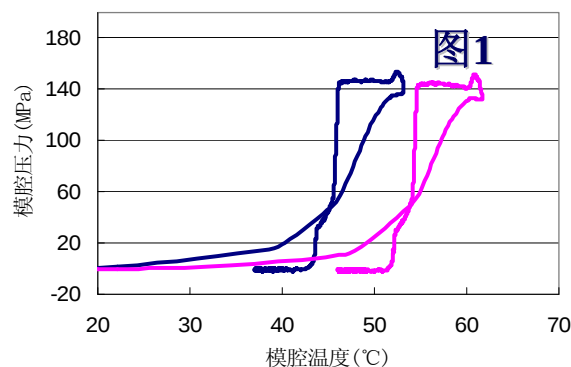
制品成型循环周期1和50的模腔温度、压力的变化

1. 塑料精密注射成型与先进制造技术

1.2 高分子材料注射成型PVT控制技术研究

PVT在线控制

模腔内压力(P)-温度(T)曲线



— 循环1
— 循环50

图1 时间转压方式

图2 位置转压方式

图3 位置时间转压方式

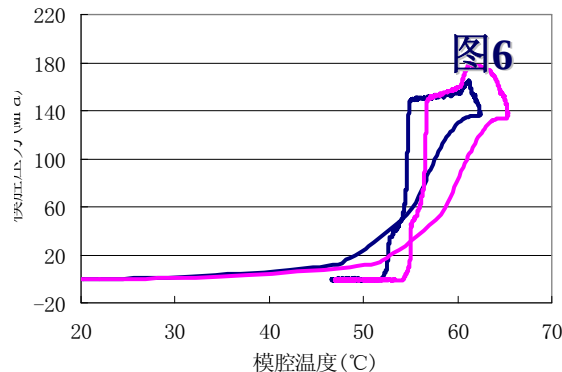
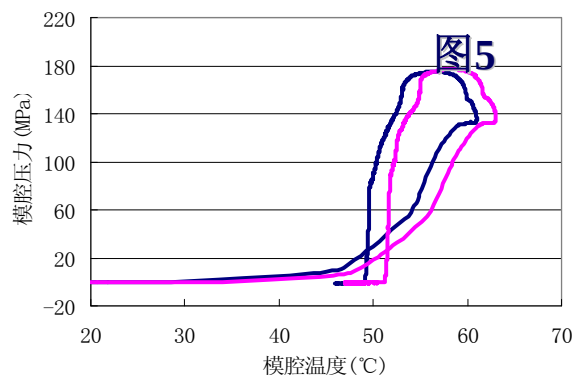
图4 压力转压方式

1. 塑料精密注射成型与先进制造技术

1.2 高分子材料注射成型PVT控制技术研究

PVT在线控制

模腔内压力(P)-温度(T)曲线



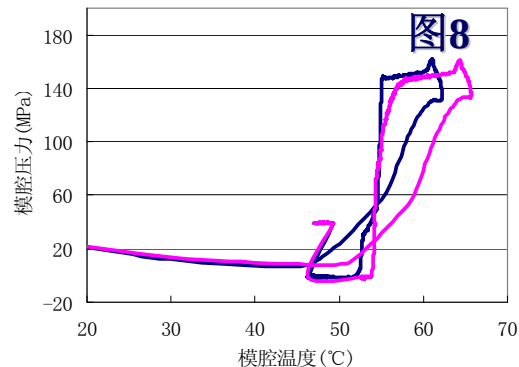
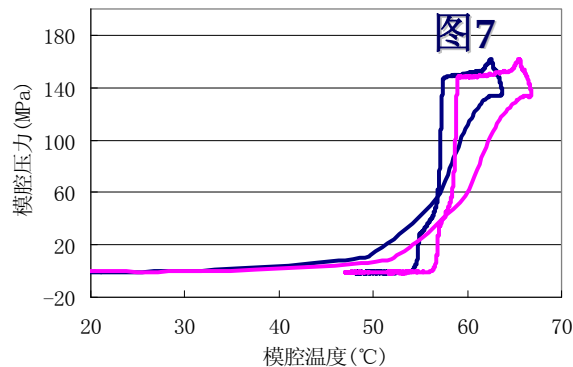
— 循环1
— 循环50

图5 温度转压方式1

图6 温度转压方式2

图7 压力控制保压结束点

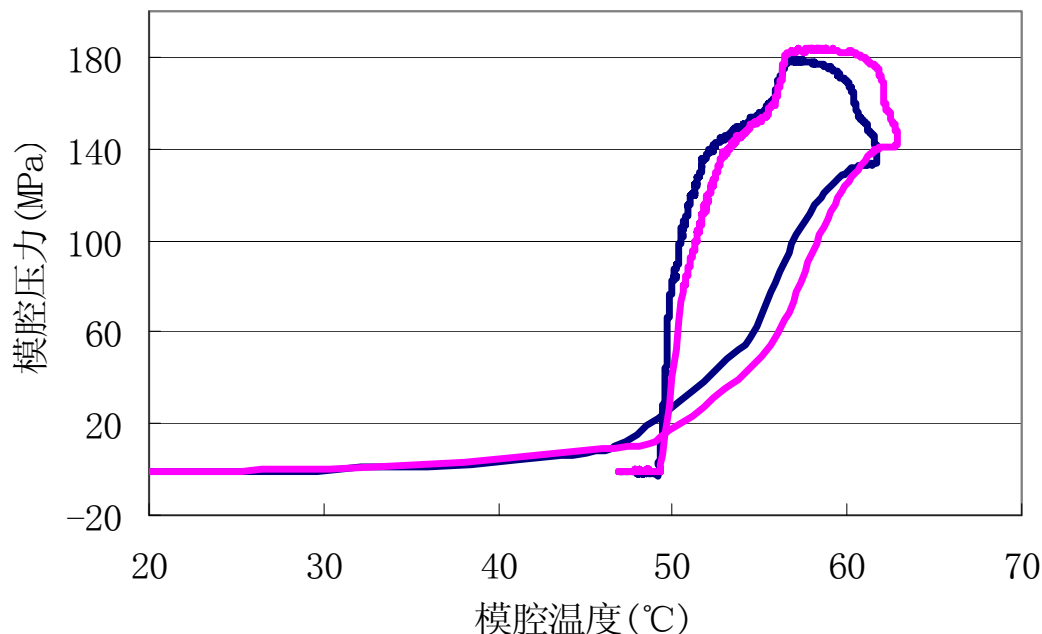
图8 温度控制保压结束点



1. 塑料精密注射成型与先进制造技术

1.2 高分子材料注射成型PVT控制技术研究

- 精密注射PVT控制目的是确保制品成型过程从熔融到冷却时P-T曲线的贴合，从而提高制品比容积V的重复精度。



以温度控制保压过程

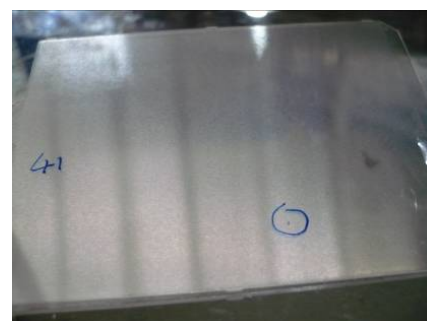
P-T曲线最为吻合，制品重复精度可达到0.5 %

1. 塑料精密注射成型与先进制造技术

1.3 导光板注射成型塑化系统关键技术研究



物料降解导致制品泛黄缺陷



导光板黑点缺陷

1. 塑料精密注射成型与先进制造技术

1.3 导光板注射成型塑化系统关键技术研究

■ 制品泛黄缺陷分析及解决措施

■ 树脂材料具有极好地充填性能

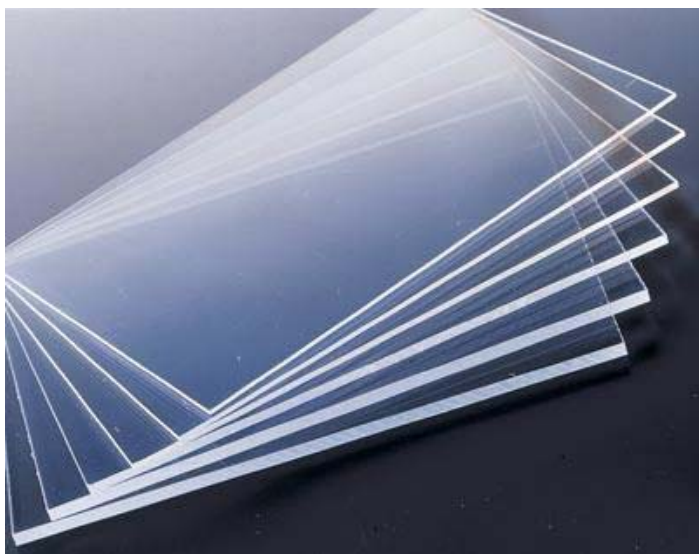


图1 注射成型导光板制品

材料选择

牌号：出光TARFLON LC1500

加工参数：280-305 °C

熔融指数：65 cm³/10min

- 通过提高加工温度的方式来降低熔体剪切粘度，**过高的加工温度是造成制品泛黄的重要原因。**

1. 塑料精密注射成型与先进制造技术

1.3 导光板注射成型塑化系统关键技术研究

■ 制品泛黄缺陷分析及解决措施

■ 剪切粘度与温度、剪切速率之间关系

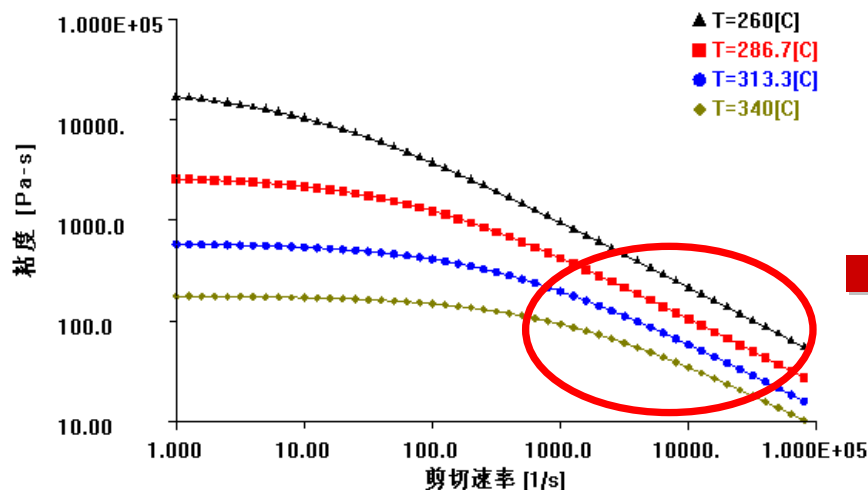


图3 日本出光PC材料流变曲线

$$\eta(\dot{\gamma}, T) = \frac{\eta_0}{1 + C_1 \cdot (\eta_0 \dot{\gamma})^{C_2}}, \quad \eta_0 = C_3 \cdot \exp\left(\frac{C_4}{T + 273.15}\right)$$

其中, η : 剪切粘度; η_0 : 零剪切粘度; $\dot{\gamma}$: 剪切速率;
T: 加工温度; C1~C4: 常数

■ 在降低成型温度的状态下, 通过提高剪切速率的方法也可以确保获得较低的树脂粘度区域。

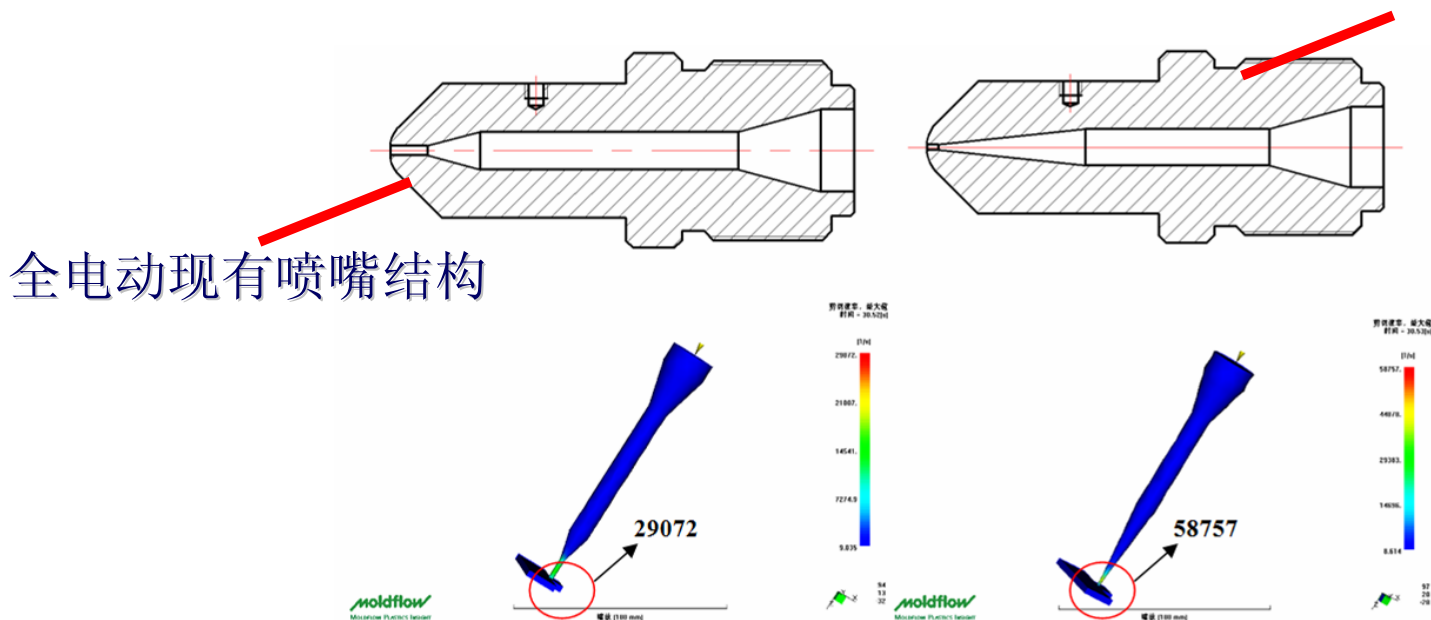
1. 塑料精密注射成型与先进制造技术

1.3 导光板注射成型塑化系统关键技术研究

■ 制品泛黄缺陷分析及解决措施

■ 采用高剪切喷嘴提高剪切速率

高剪切速率喷嘴结构



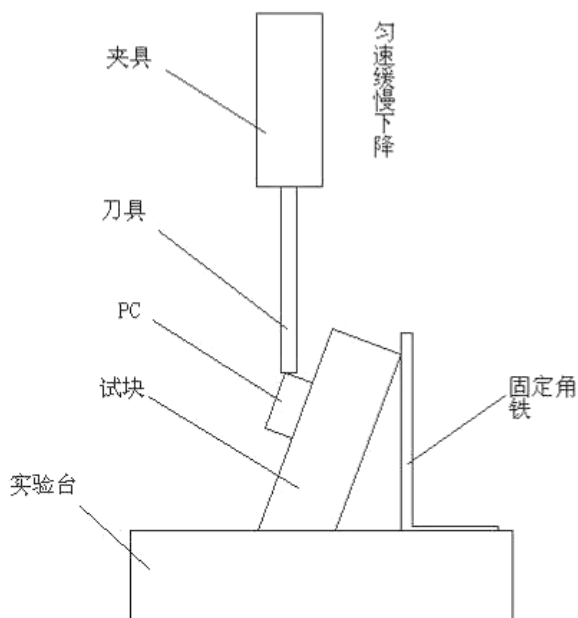
高剪切喷嘴使熔体剪切速率提升1倍以上，可有效改善导光板发黄缺陷。

1. 塑料精密注射成型与先进制造技术

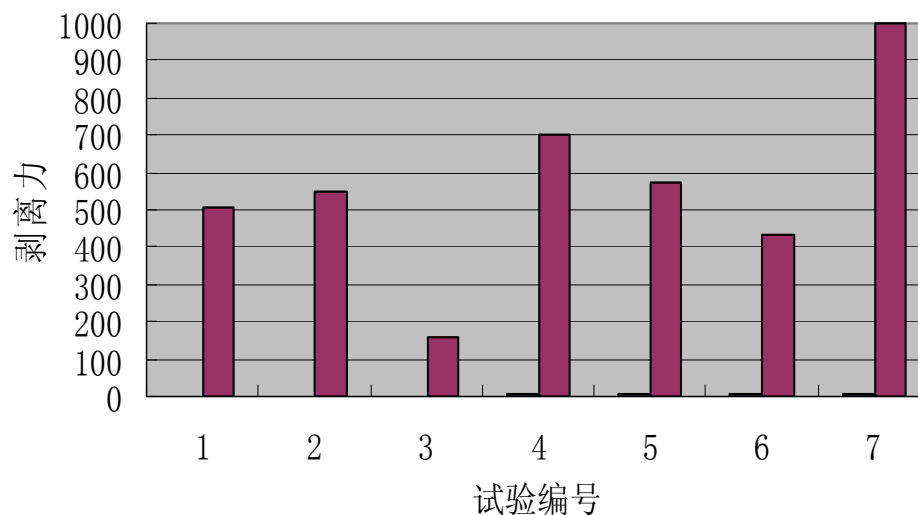
1.3 导光板注射成型塑化系统关键技术研究

■ 制品黑点缺陷分析及解决措施

■ 注塑螺杆镀层方案选择



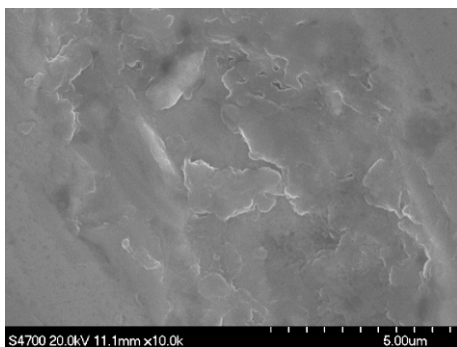
- ①模具钢SKD11; ②纯镍(刷镀); ③碳化钨(钴)(热喷涂)
④氧化铬(Cr_2O_3)(热喷涂); ⑤纳米材料(电刷镀)
⑥镍钨合金(电刷镀); ⑦氮铝化钛(物理气相沉积)



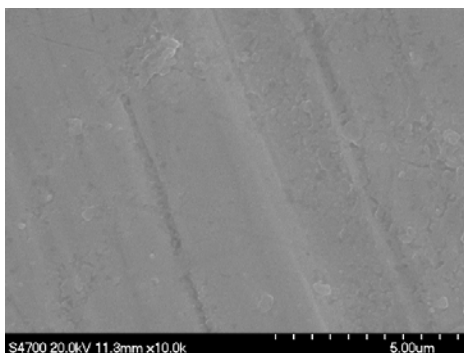
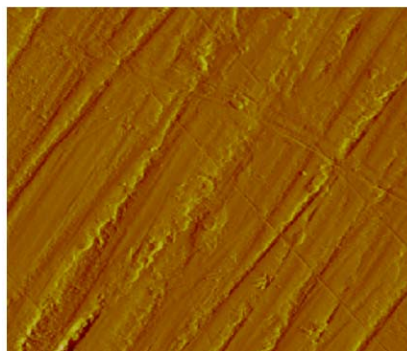
1. 塑料精密注射成型与先进制造技术

1.3 导光板注射成型塑化系统关键技术研究

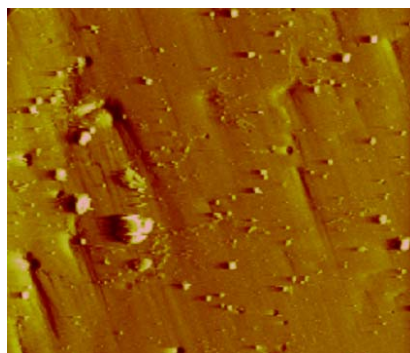
■ 制品黑点缺陷分析及解决措施



电镀硬铬镀层（1万倍）SEM及AFM表面形貌



电刷镀镍钨合金镀层(1万倍)SEM及AFM表面形貌



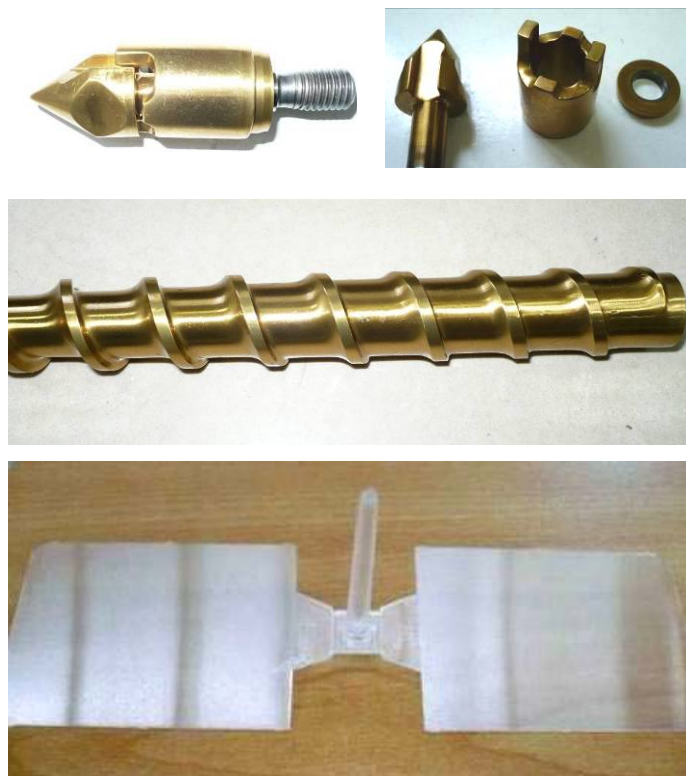
研究表明镀层微观表面状况是影响剥离性能的关键因素，其微观晶体的生长、晶体颗粒的大小，以及晶体的排列，微观表面是否存在明显沟槽等、是否平整等都影响着镀层和PC料的剥离性能。

1. 塑料精密注射成型与先进制造技术

1.3 导光板注射成型塑化系统关键技术研究

■ 制品黑点缺陷分析及解决措施

■ 螺杆镀层方案现场工业实验



1. 塑料精密注射成型与先进制造技术

1.3 导光板注射成型塑化系统关键技术研究

■ 制品黑点缺陷分析及解决措施

■ 螺杆镀层方案现场工业实验结果

方案	出现缺陷 (循环数)	黑点率	镀层、降解物料粘结情况
常规镀硬铬	第410模 出现黑点	19.21%	螺杆头所有的边角处镀层脱落发黑，头部尖角有大面积降解焦黄物料粘结。在槽内直角处有黑点降解物料。螺杆镀层完好，无降解料沉积。
物理气相沉积 类金刚石镀层	第521模 出现黑点 (镀层褪色)	0.334%	螺杆头前端大面积脱落，其它地方局部脱落。内镀层完好，无降解料沉积。螺杆的头部有大面积降解物料粘结，计量段的第一个螺槽、最后一个螺槽，压缩段的最后一个螺槽，从头部算起的第十个螺槽，螺槽中部有降解物料粘结。
物理气相沉积 氮铝化钛镀层	第1098模 出现黑点	0.185%	螺杆头镀层表现良好，螺杆镀层完好，整根螺杆无降解焦黄料粘结。

塑料精密注射成型与 先进制造技术

目 录

-  1. 塑料精密注射成型与先进制造技术
-  2. 塑料精密注射成型可视化技术及应用
-  3. 高分子材料先进制造的“微积分”方法

2 塑料精密注射成型可视化技术及应用

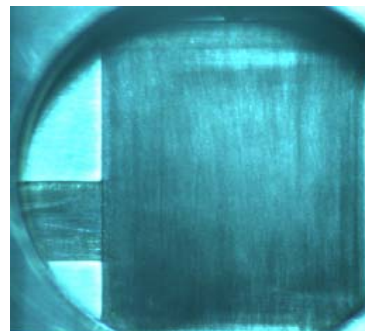
定义:

“百闻不如一见！”

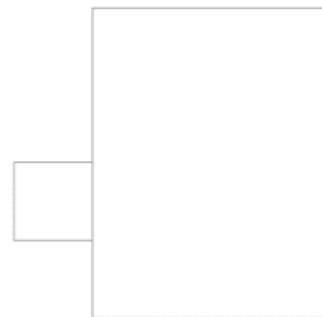
所谓**可视化技术**，是指对于高分子材料的实际成型过程，由固体到熔融态、混炼和分散均化、熔体冷却成型等全过程都可直接观察的一项研究方法。

注塑成型可视化技术使注射过程由“**暗箱操作**”变为“**阳光工程**”，充模过程一目了然。

近年来它与CAE相辅相成，推动着高分子材料加工成型科学技术的快速发展。可视化方法对于发现加工成型过程中的某些未知现象，揭示成型缺陷的产生方面有着不可替代的重要作用。

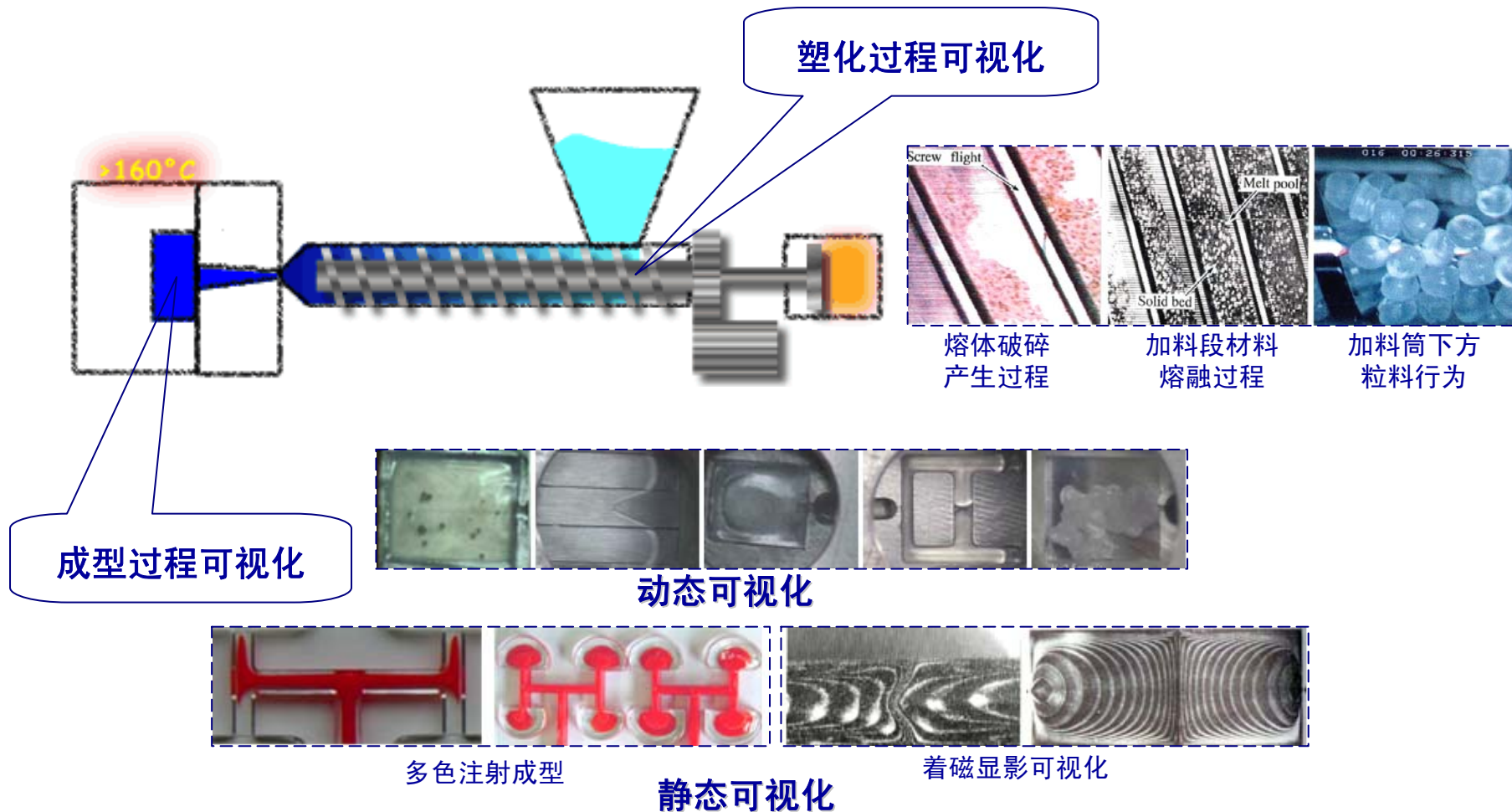


试样可视化实验



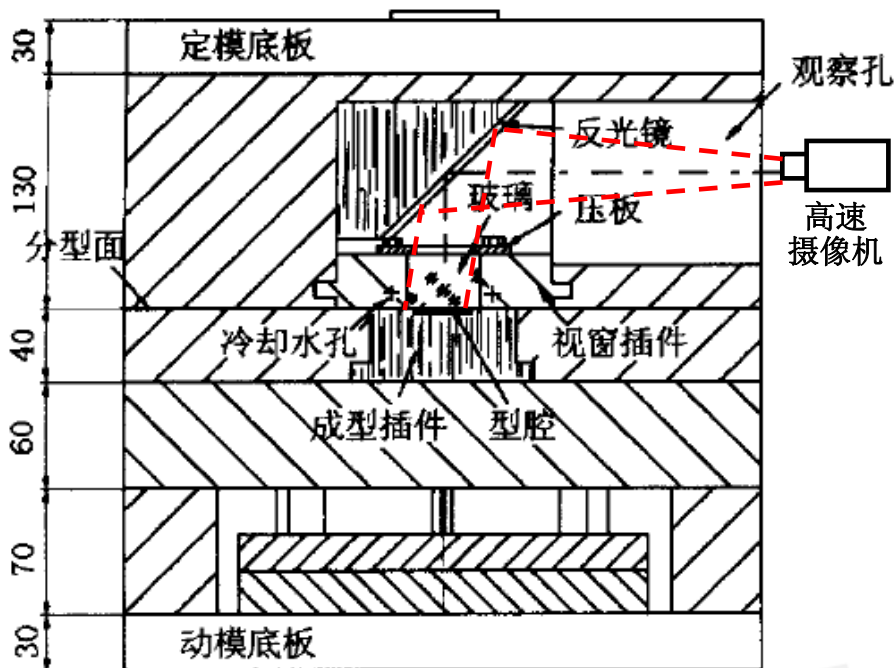
试样CAE模拟

2 塑料精密注射成型可视化技术及应用

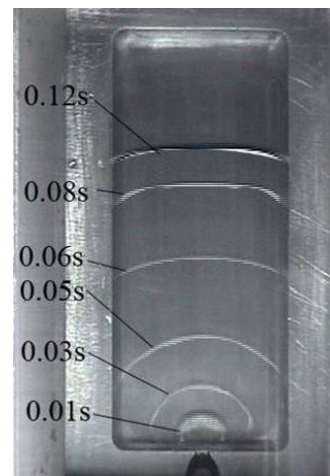
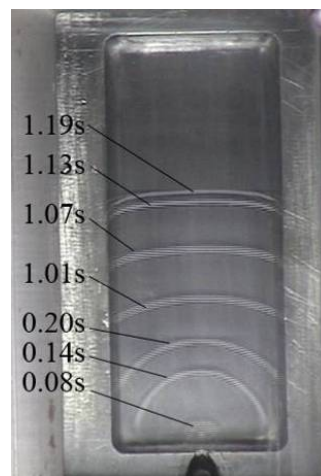
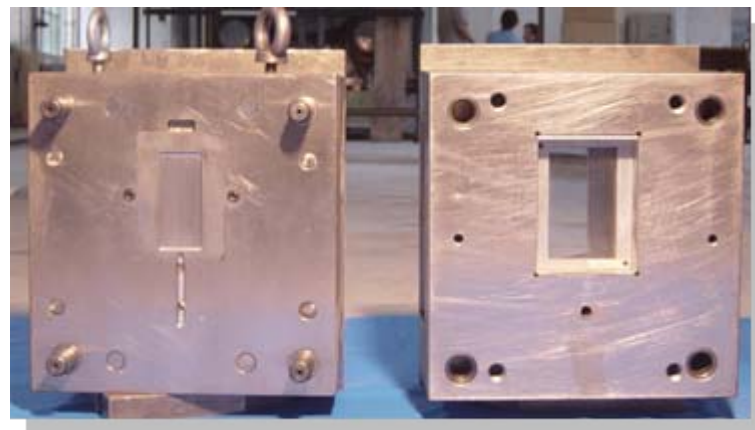


2 塑料精密注射成型可视化技术及应用

可视化模具



潜望式可视化实验装置结构图



2 塑料精密注射成型可视化技术及应用

注射成型可视化



高速摄像机

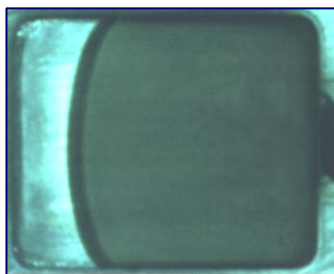
帧数:17045 帧/秒

配备高速摄像机的精密注射充模过程可视化系统

2 塑料精密注射成型可视化技术及应用

可视化摄影图例

型腔内熔体充填行为解析



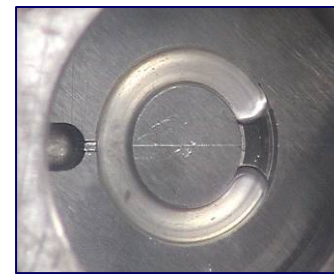
矩形型腔



“工”字型腔

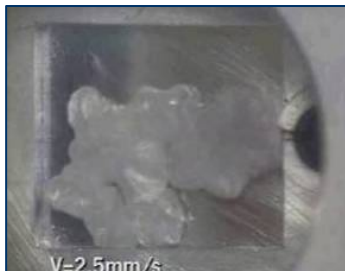


壁厚不均匀型腔



圆环形型腔

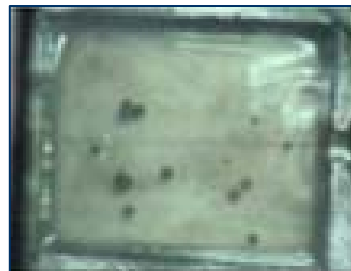
注射成型缺陷产生机理



喷射



缩痕



气泡



熔接痕

2 塑料精密注射成型可视化技术及应用

典型的模具型腔

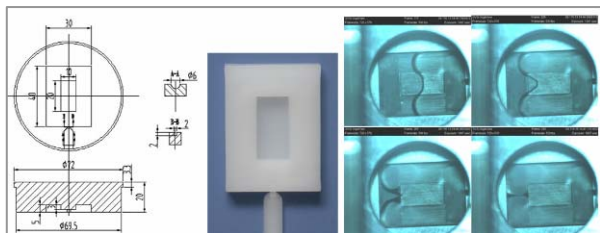


观察分析项目：

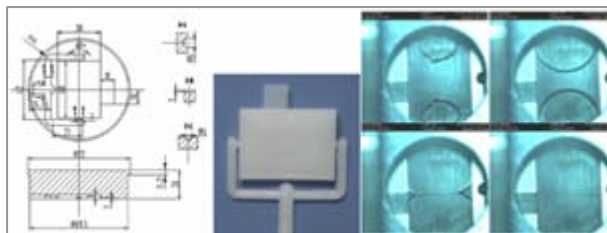
- 双浇口矩形型腔熔体充填规律
- 壁厚分布不均匀矩形型腔熔体充填规律
- 均匀壁厚矩形侧向结构型腔熔体充填规律
- 厚壁矩形型腔点浇口结构熔体充填规律
- 矩形型腔扇形浇口结构熔体充填规律
- U形型腔熔体充填规律
- 不同流道系统圆形型腔熔体充填规律
- 圆环形型腔熔体充填规律
- 壁厚不均匀矩形型腔熔体充填规律
- 不等厚台阶形型腔熔体充填规律
- “甘”字形型腔熔体充填规律

2 塑料精密注射成型可视化技术及应用

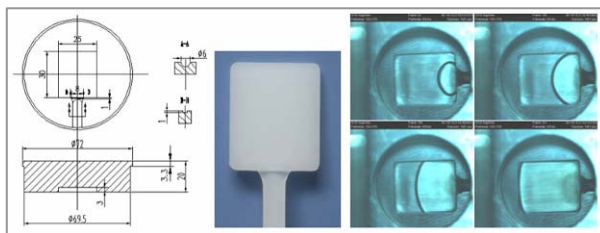
详细分析



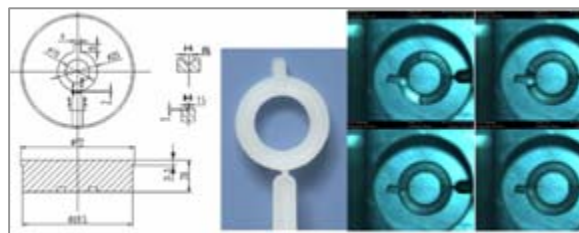
壁厚分布不均匀的矩形型腔熔体充填规律



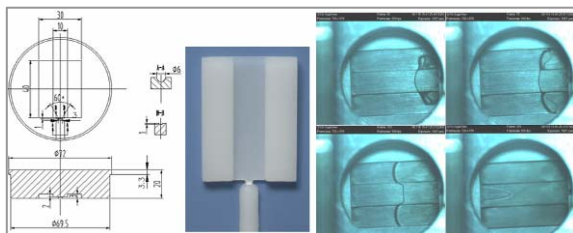
均匀矩形侧向特征结构型腔熔体充填规律



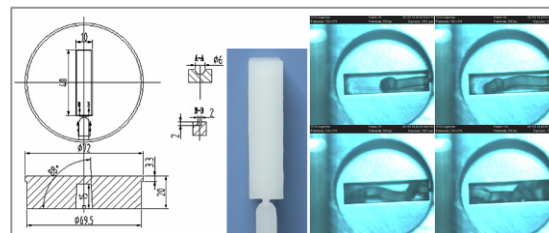
矩形型腔扇形浇口结构熔体充填规律



圆环形型腔熔体充填规律



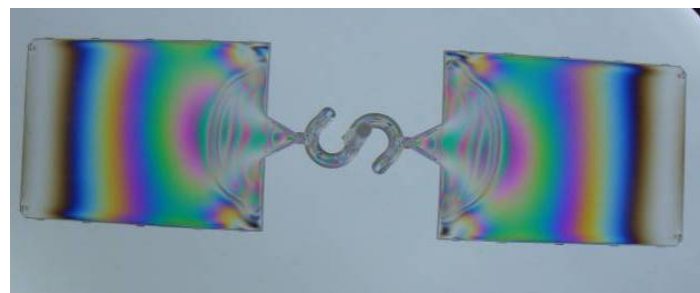
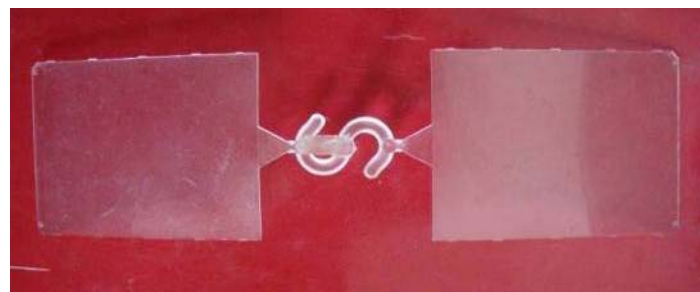
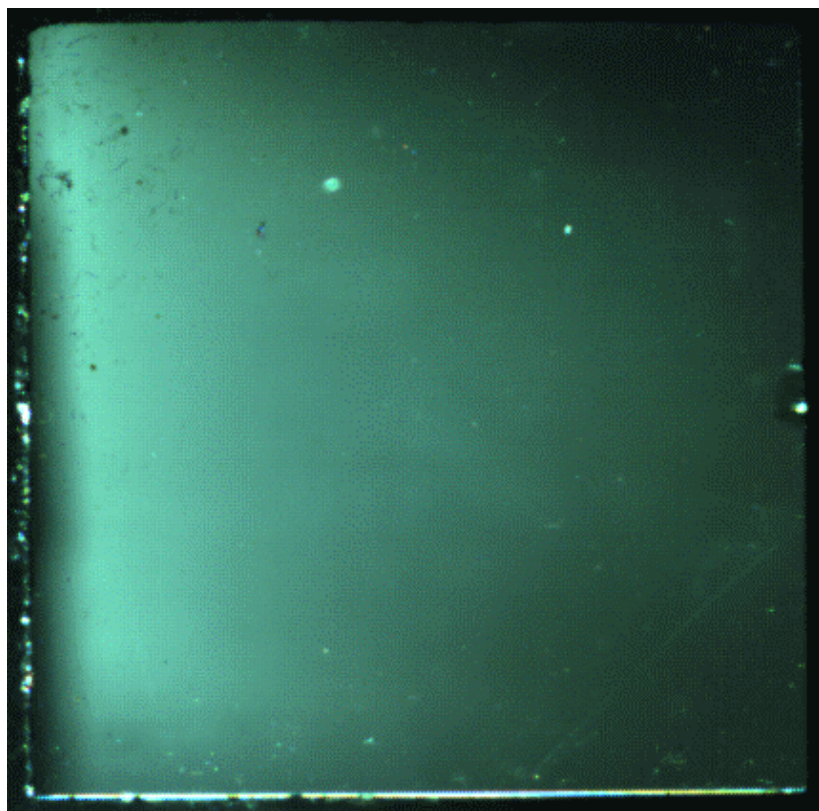
壁厚不均匀矩形型腔熔体充填规律



厚壁矩形型腔点浇口结构熔体充填规律

2 塑料精密注射成型可视化技术及应用

□ 注塑成型内应力的动态可视化



动态反映了从熔体刚进入模具型腔一直到保压结束等差条纹的变化。

双折射可视化系统拍摄的动态分布

2 塑料精密注射成型可视化技术及应用

□ 多模腔精密注塑成型中充填平衡的可视化研究



低速 $V=3.06 \text{ cm}^3/\text{s}$ 高速 $V=30.6 \text{ cm}^3/\text{s}$

不同充模速度充模结果



典型的H型流道充填不平衡现象

塑料制品注塑成型的高效化和精密化使得一模多腔的应用十分普遍。但生产实践表明，生产中常用的“H”型自然平衡流道，充填结果会出现大量的充填不平衡现象。

2 塑料精密注射成型可视化技术及应用

□ 多模腔精密注塑成型中充填平衡的可视化研究

下图为实验用的可视化装置，右图为用该装置拍摄的动态可视化视频截图：

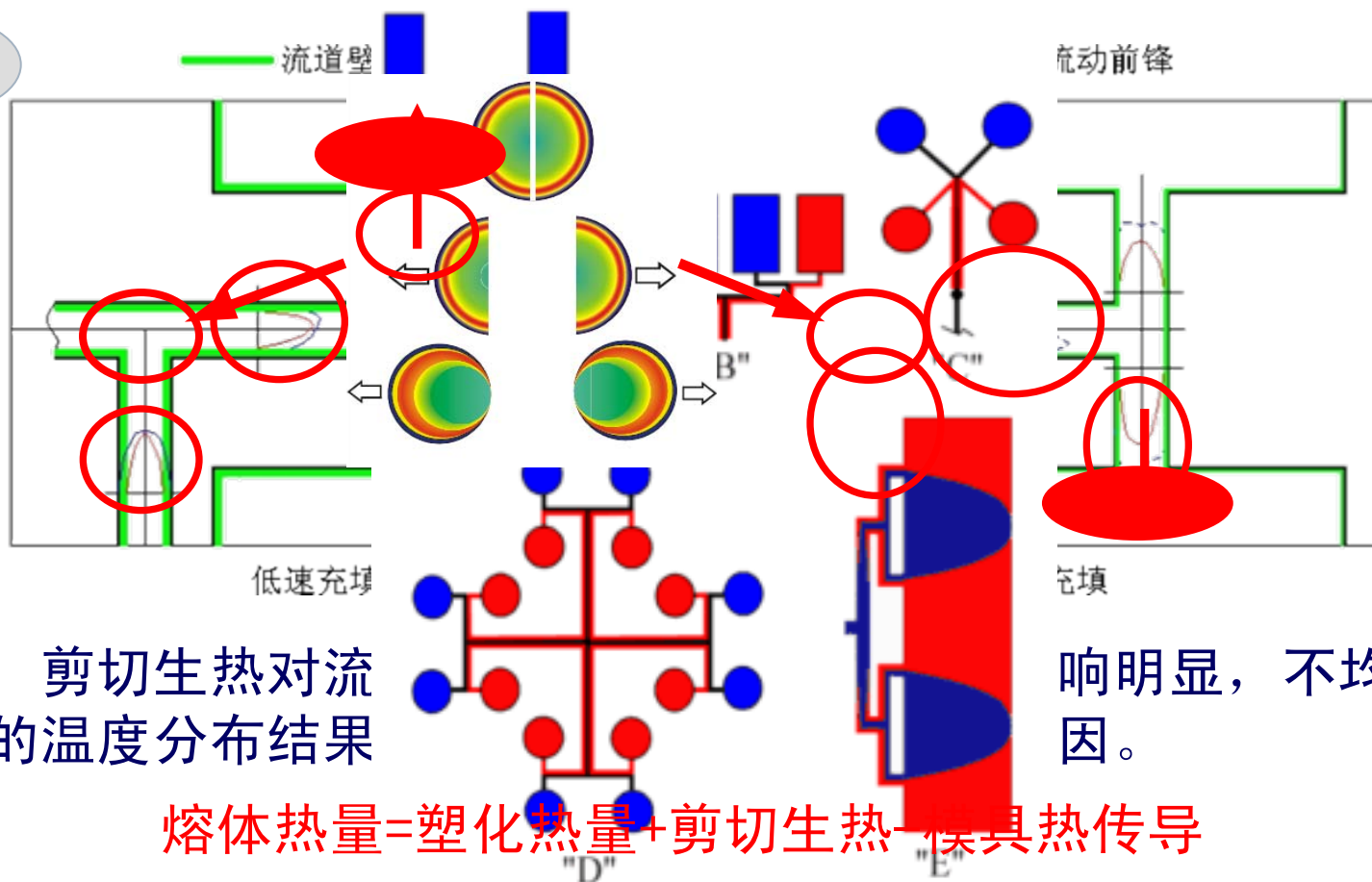


注塑成型可视化研究实验装置

2 塑料精密注射成型可视化技术及应用

□ 多模腔精密注塑成型中充填平衡的可视化研究

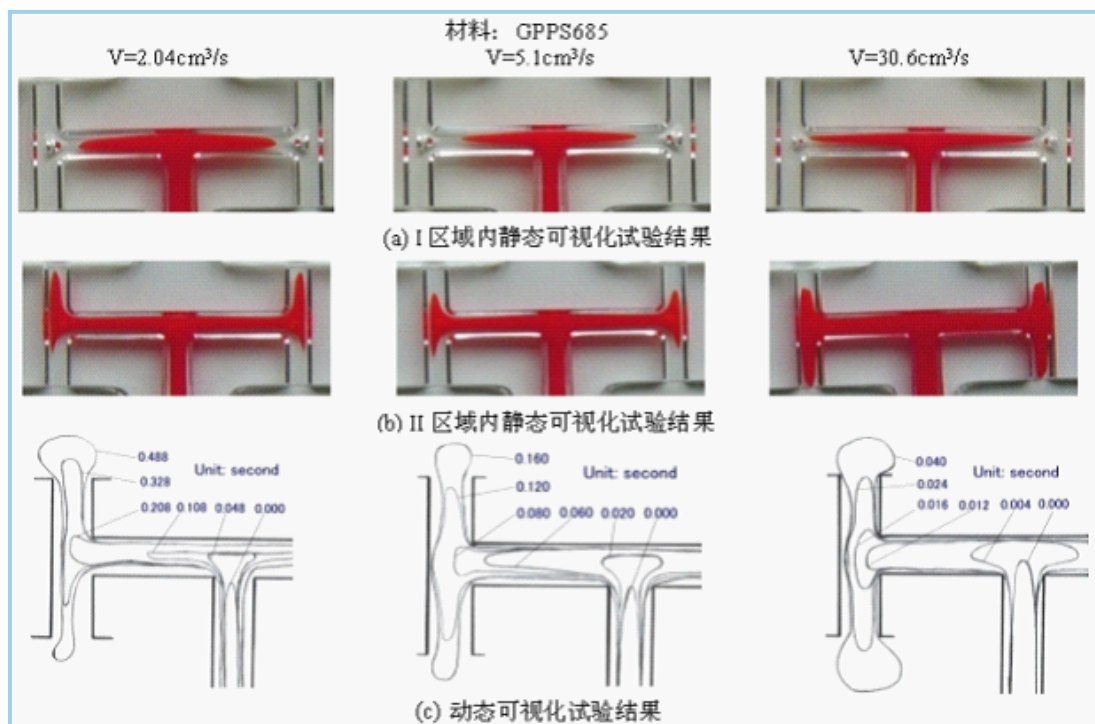
结论:



2 塑料精密注射成型可视化技术及应用

□ 多模腔精密注塑成型中充填平衡的可视化研究

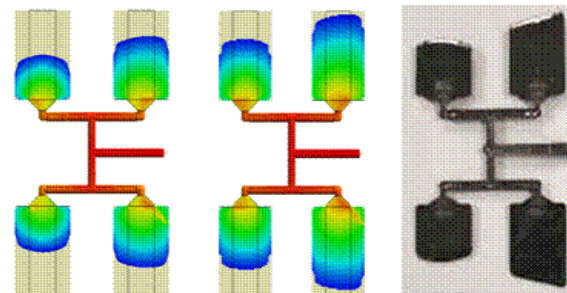
(1) 不平衡充填过程可视化实验结果(流动行为)



可视化实验结果



静态可视化对比结果

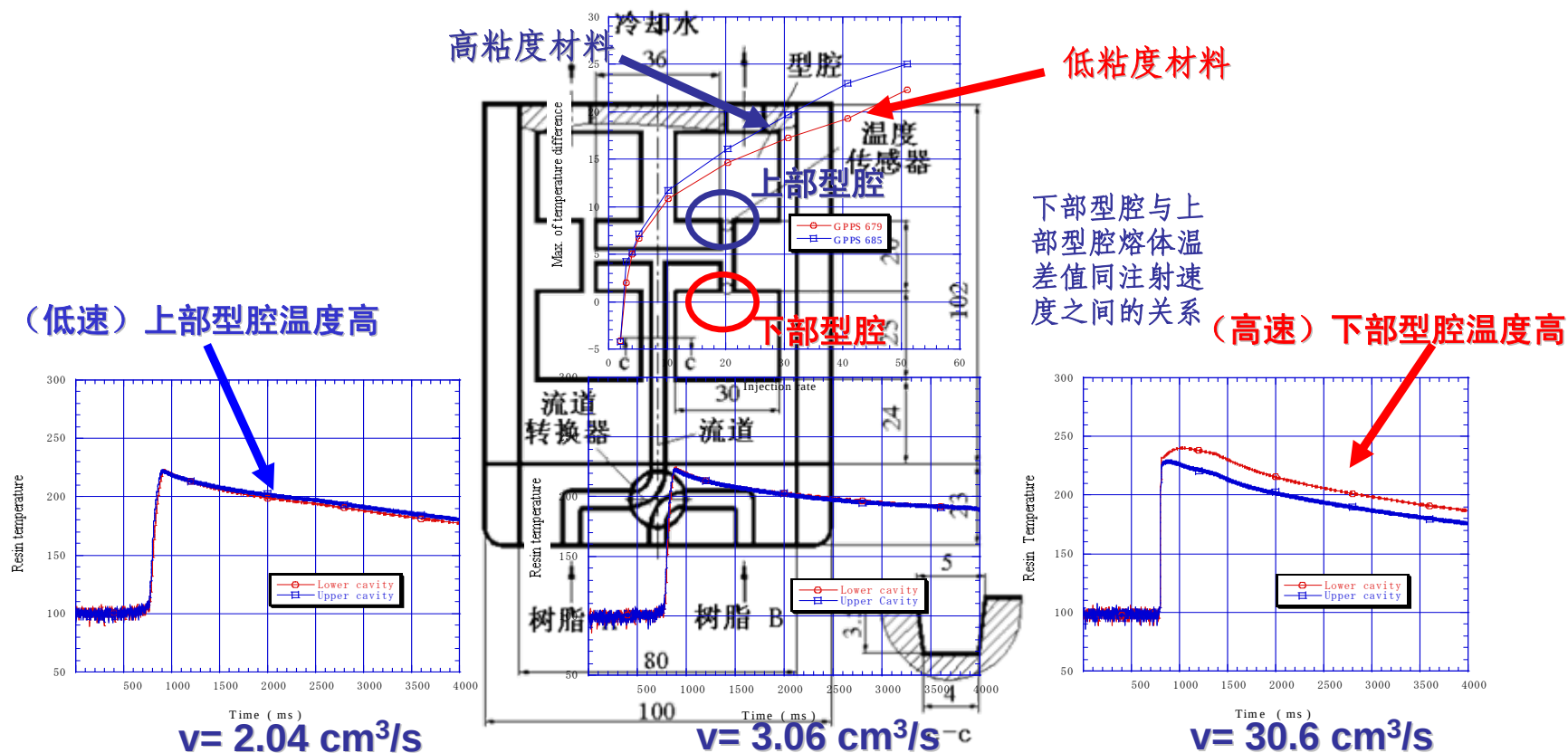


CAE模拟图

2 塑料精密注射成型可视化技术及应用

□ 多模腔精密注塑成型中充填平衡的可视化研究

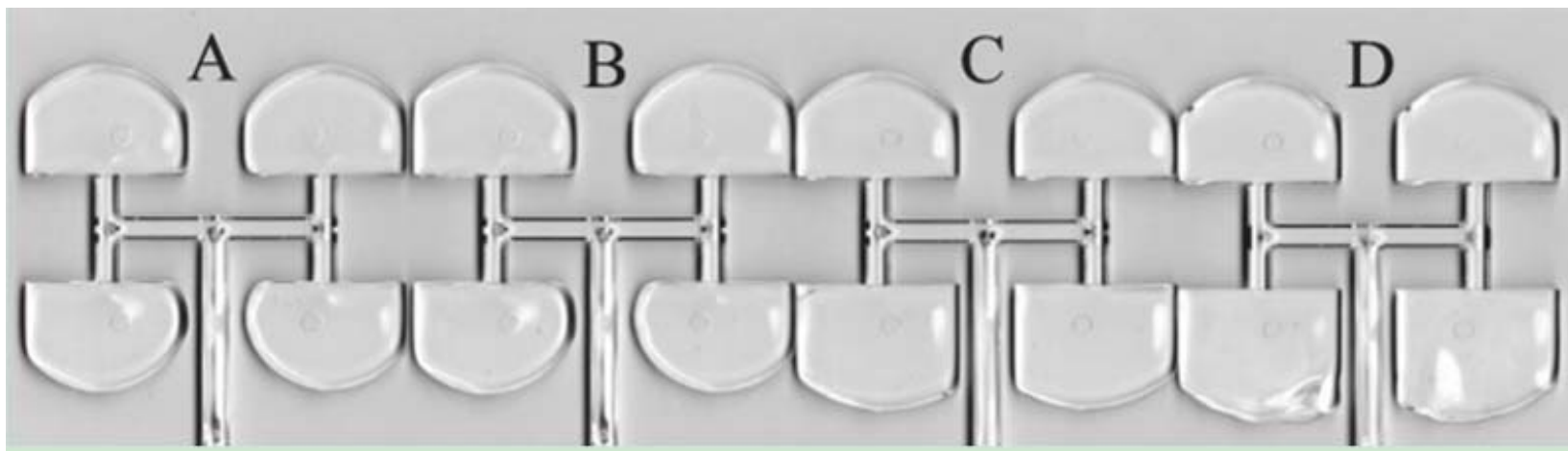
(2) 不平衡充填过程温度测量结果(熔体温度分布)



2 塑料精密注射成型可视化技术及应用

□ 多模腔精密注塑成型中充填平衡的可视化研究

解决不平衡充填的方法---“两步注射法”



A、B 两步法注塑成型结果

C、D 单一注射速度成型结果

两步注射法即在同一注射周期中采取从低速注射切换到高速注射的方式来改善流动平衡的影响。

2 塑料精密注射成型可视化技术及应用

发布《英蓝可视化视频专辑》21部



<http://v.icax.org/forum-112-1.html>



塑料精密注射成型与 先进制造技术

目 录

-  1. 塑料精密注射成型与先进制造技术
-  2. 塑料精密注射成型可视化技术及应用
-  3. 高分子材料先进制造的“微积分”方法

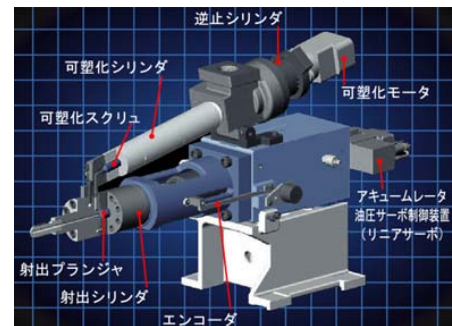
3. 高分子材料先进制造的“微积分”方法

传统思维模式制约着制造技术的发展！

如注射成型：大型注塑机制造大型制品

微型注塑机制造微型制品

这条路线已经越走越窄：**原理不但没有创新反而复古！**
最先进的微注塑机采用最古老的柱塞式注射成型。





3. 高分子材料先进制造的“微积分”方法

(1) 微分注射成型原理与方法

(发明专利: ZL2008102272414)

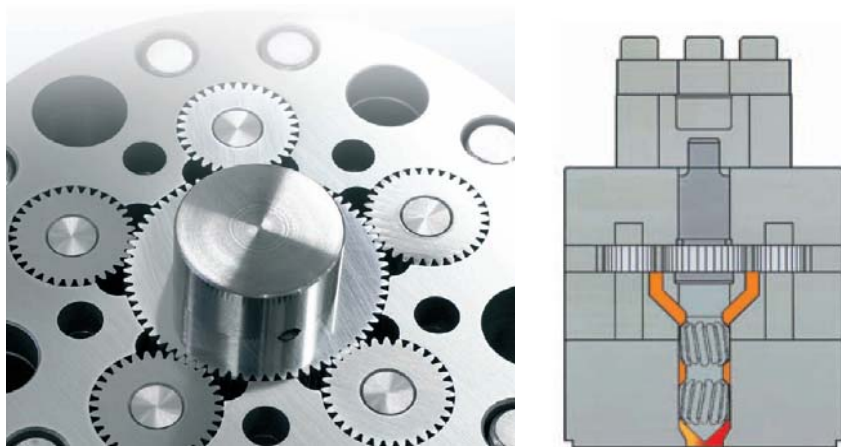


图1 行星齿轮式熔体微分泵

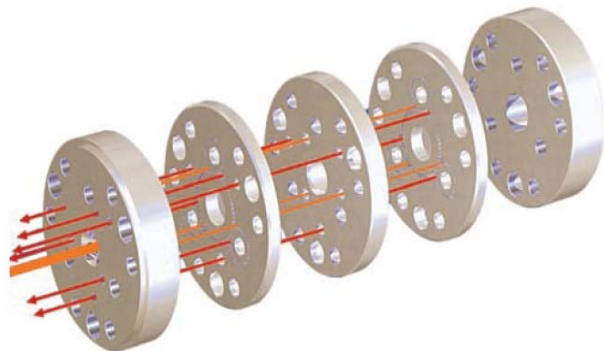


图2 微分注射成型原理示意图

突破传统机型采用尺寸缩小的设计思路，解决核心部件螺杆加工困难，强度难以满足要求以及高精度控制难度大等技术难题。



德国ARUBURG 微型注射模块

微分注塑设计思想：
一分多，大分小，小分微

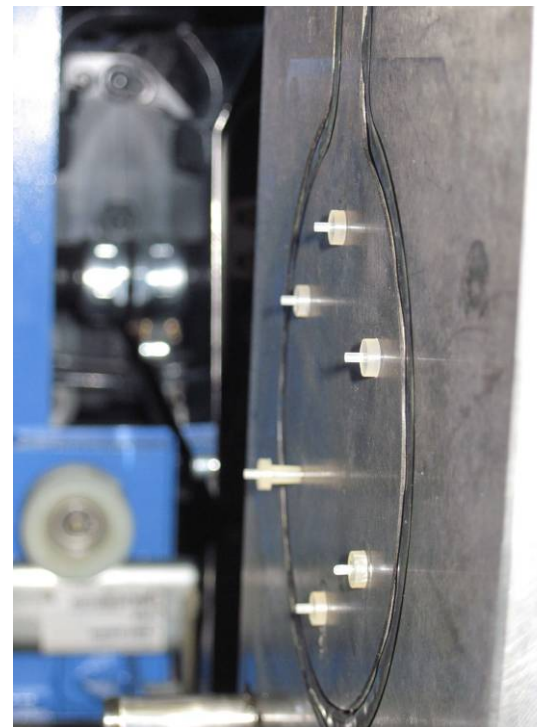
3. 高分子材料先进制造的“微积分”方法

(1) 微分注射成型原理与方法

(发明专利: ZL2008102272414)



微分注射成型原理样机



微分注射成型制品

合作伙伴:



广州数控设备有限公司
GSK CNC EQUIPMENT CO., LTD.

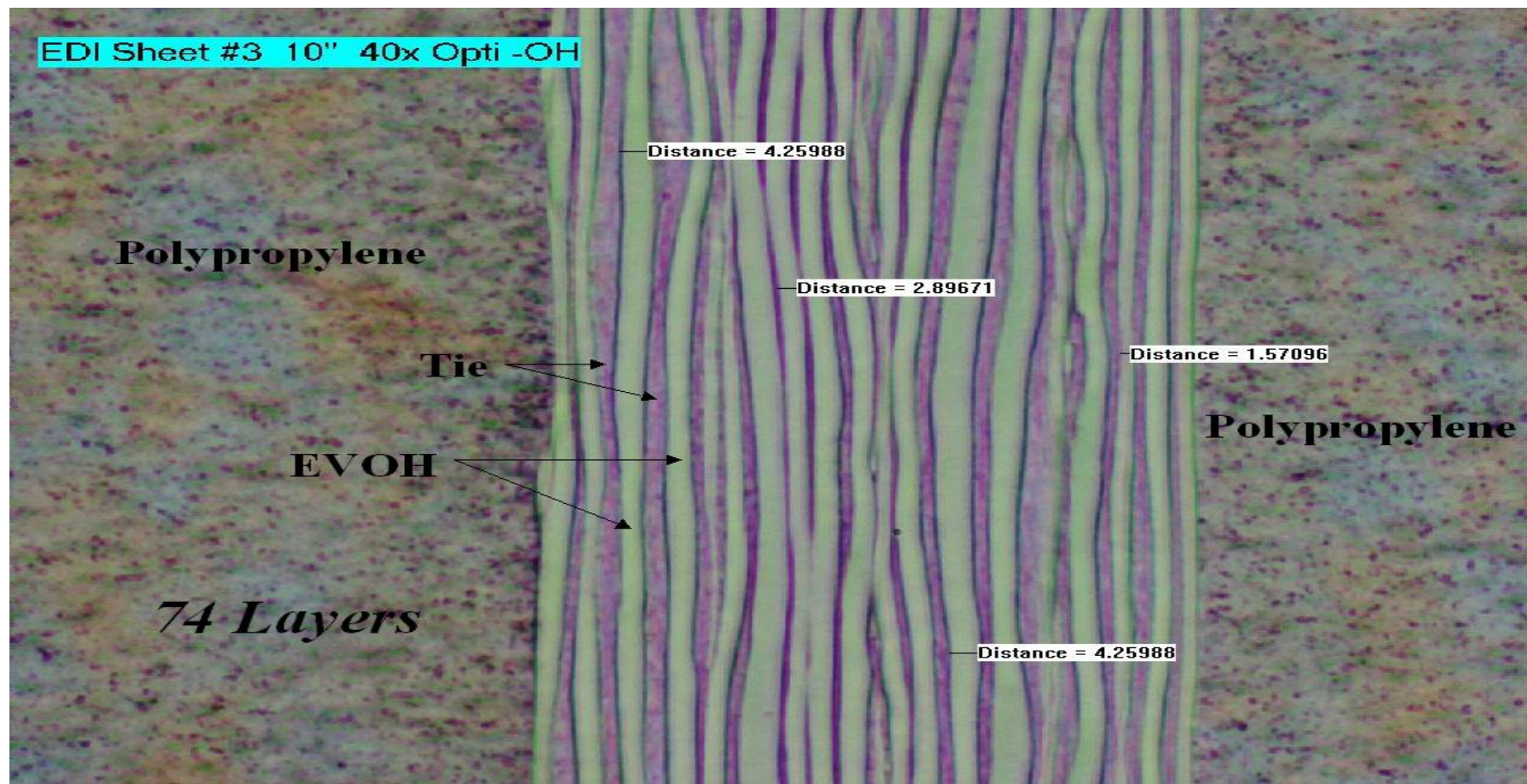


HAITIAN
INTERNATIONAL



2. 高分子材料先进制造的“微积分”方法

美国EDI公司推出的74层阻隔材料制备技术



2. 高分子材料先进制造的“微积分”方法

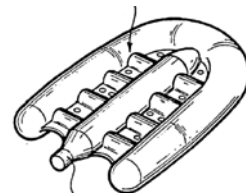
□ 极高的强度

美国3M公司将超级盾牌膜称之为“世界上最强的膜”



□ 极高的气体阻隔性

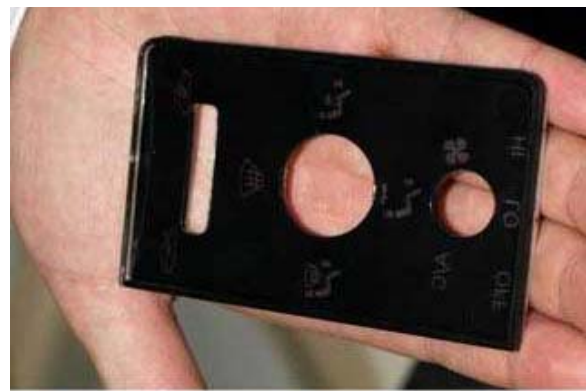
NIKE 微层气垫层数可达1000层，层厚为 $0.01\ \mu\text{m}$ 。



US Pat.
6846534 -
Nike, Inc.

□ 神奇的光学性能

日本东丽公司开发出了呈金属光泽的树脂薄膜，形成约1000层的层叠结构，每层厚度约为 $0.2\ \mu\text{m}$ 。



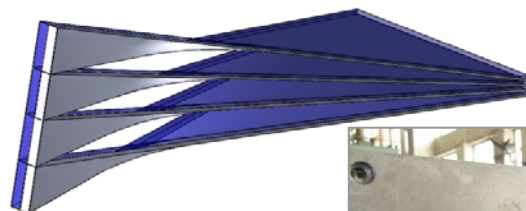
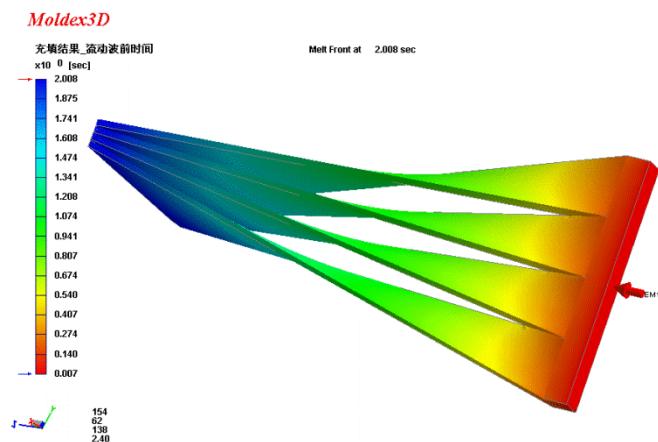
2. 高分子材料先进制造的“微积分”方法

(2) 微积分叠层复合成型原理与方法

(发明专利：200910237622.5)

一分四，四分十六，再分六十四…… 熔体微分！

厚分薄，薄分微层，微层叠加，**微积分叠层复合**！



**微纳叠层功能
复合材料
关键加工设备**

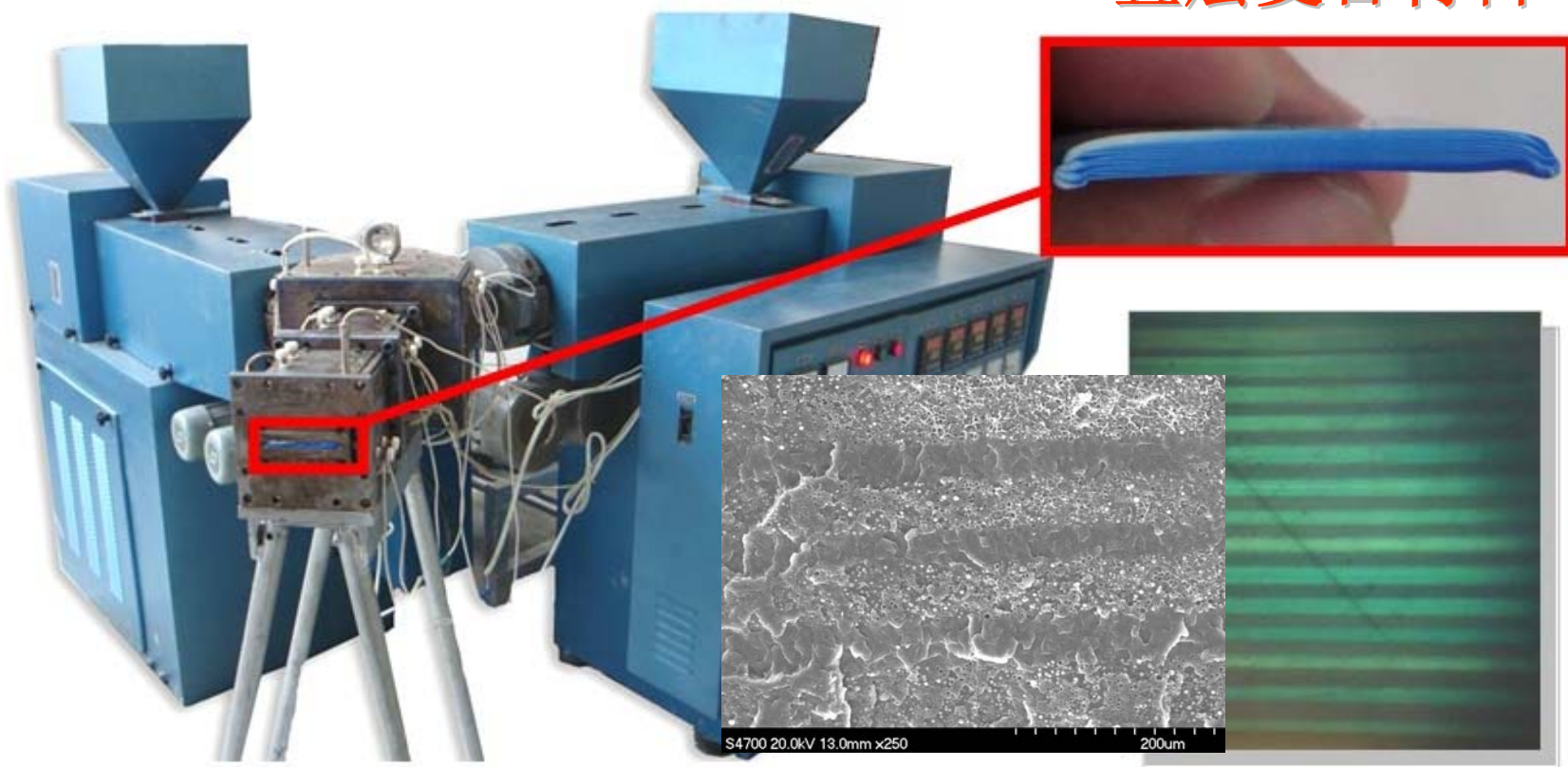
采用纳米微层拖曳流场控制一维/二维无机纳米粒子沿流动平面取向的方法

2. 高分子材料先进制造的“微积分”方法

叠层复合成型工艺装备及复合材料样品
(分层规整清晰的叠层复合结构)

根据需要,可制备成千上万层的复合材料!

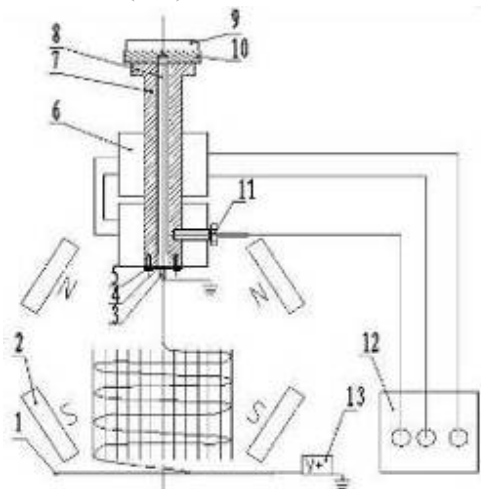
叠层复合材料



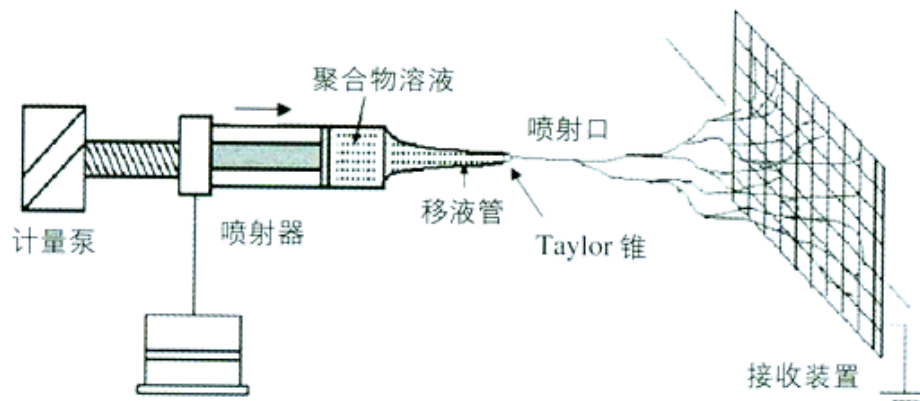
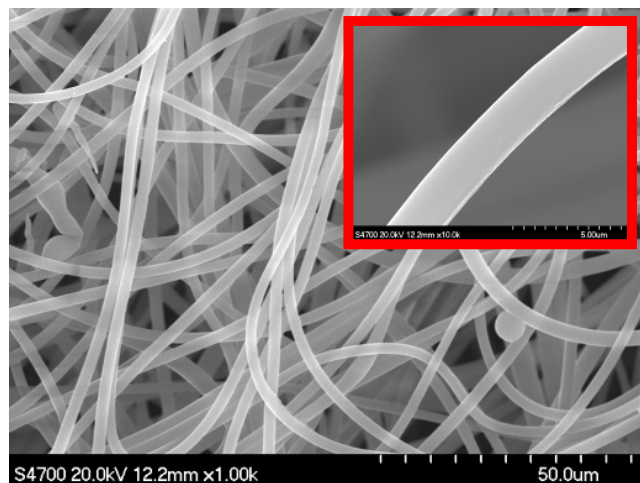


2. 高分子材料先进制造的“微积分”方法

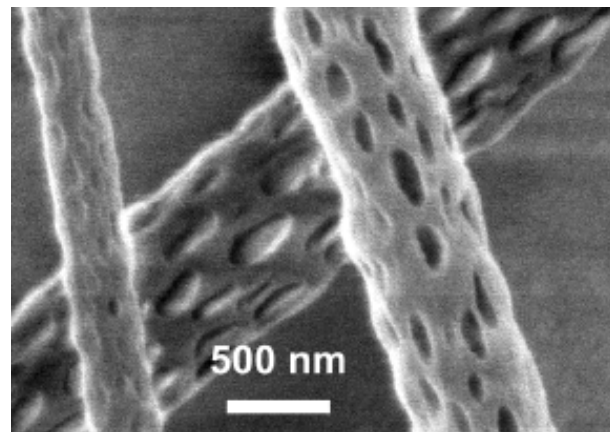
(3)微分、积分静电纺丝原理与方法 (发明专利: 2008101054018)



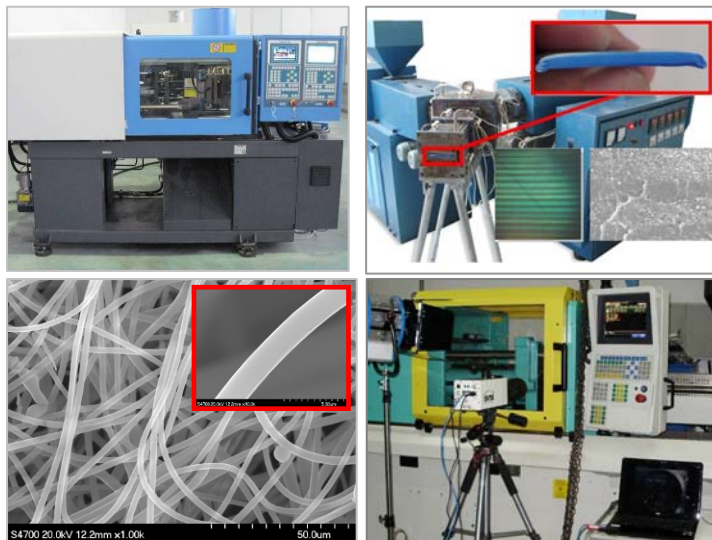
熔体静电纺丝装置



国内外已有熔液体静电纺丝方法



谢谢大家!



北京化工大学

高分子材料先进制造研究室

谢鹏程

北京化工大学机电工程学院 100029

TEL:010-64434734

E-mail: xiepengcheng@gamil.com