

注塑加工工业4.0的发展之路

高福荣 讲座教授

高分子成型过程及系统中心(CPPS)

先进制造与自动化研究所 (AMA)

香港科技大学化工系 (CBME)

报告提纲

1

行业背景

2

单机精密注塑控制

3

单机智能注塑控制

4

智能集成化注塑工厂

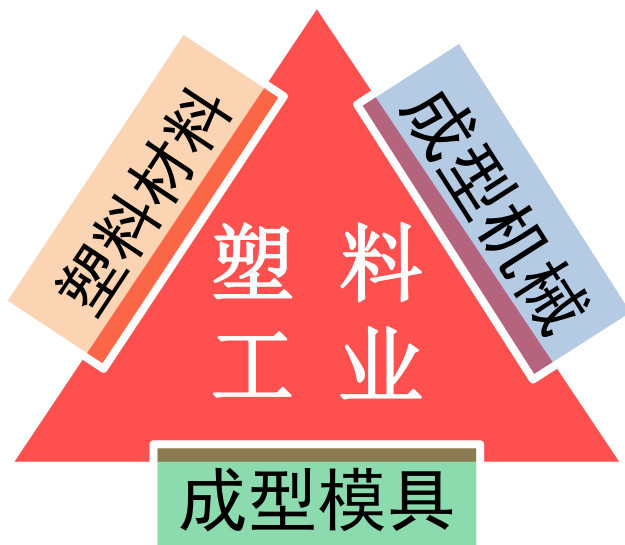
5

总结

行业背景

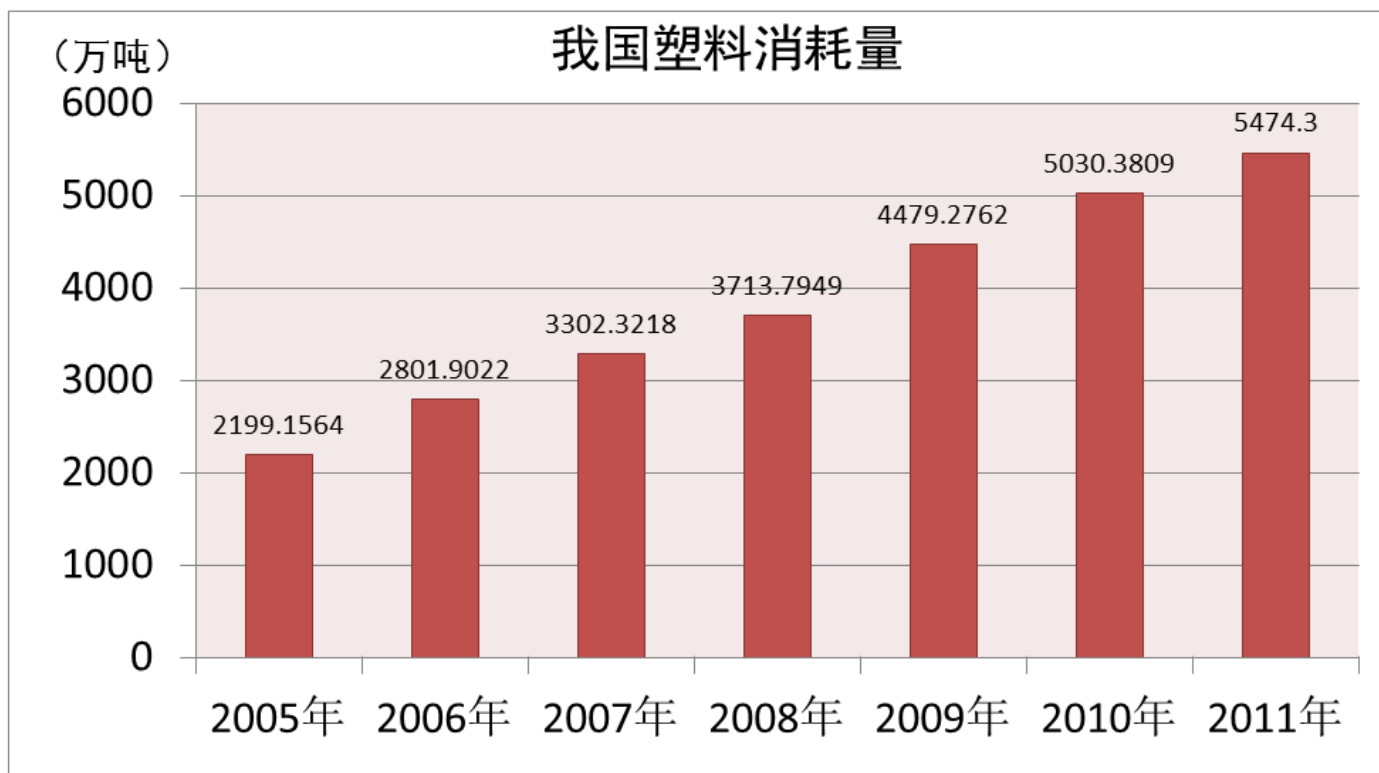
➤ 塑料工业

- 塑料被誉为20世纪最伟大的发明，制品广泛应用于交通运输、航空航天、信息、医疗等**国民经济的支柱产业**



➤ 塑料材料

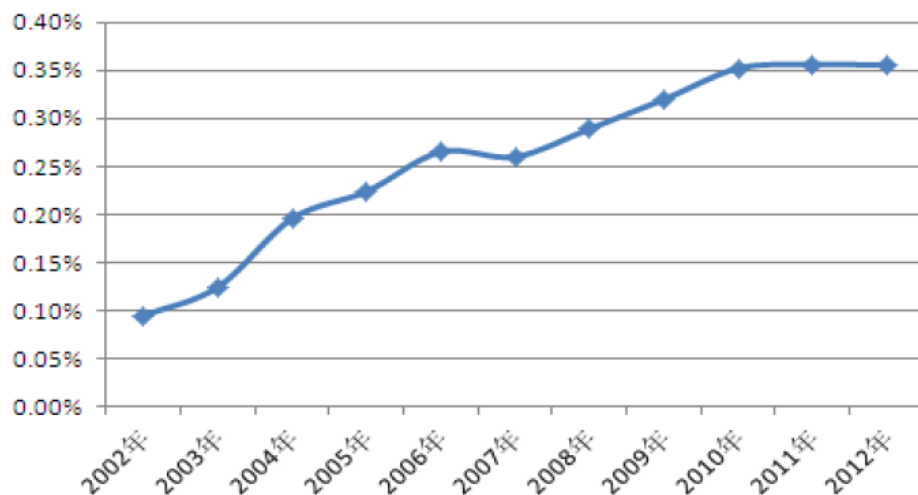
- 2012年，中国塑料消费总量达到**5781万吨**，**世界第二**
- 2012年，中国塑料制品产值**1.7万亿**



(数据来源：中国轻工业信息中心、广东省塑料工业协会)

► 成型模具

■ 行业在国民经济地位不断攀升



模具制造行业工业总产值占总GDP比重

■ 行业市场规模大

2012年	中国
模具行业产量（套）	2111.4万
模具行业产值（元）	1845亿

（数据来源：深圳塑料协会和机械协会，前瞻资讯、国家海关）

➤ 塑料机械

■ 从工业1.0到工业4.0

工业1.0

创造了机器**动力**的“蒸汽时代”



18世纪末代

工业2.0

将人类带入**分工明确**、**大批量生产的流水线模式**和“电气时代”

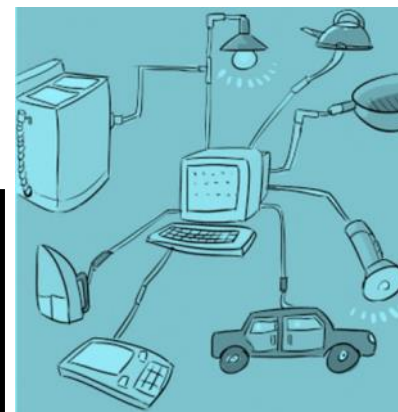
20世纪初



工业3.0

应用**电子信息技术**，提高**生产自动化控制水平**

1970年代初



工业4.0

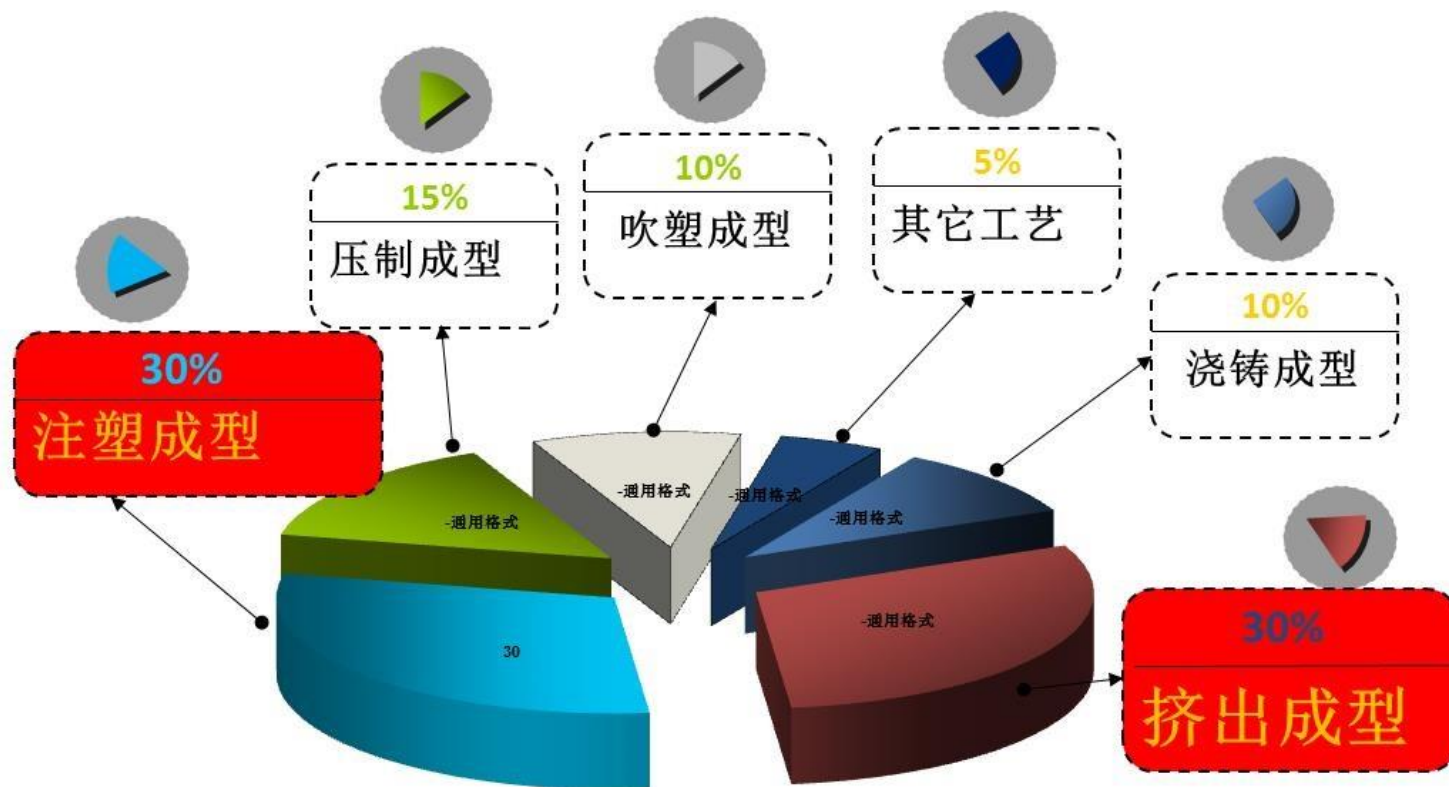
- 信息物理系统 (CPS)
- 感知, 互联, 自学, 互学, 自组, 自决, 自优
- 真正意义上的**自动化**
- (没有或几乎没有需要人的参与)

现在

年代

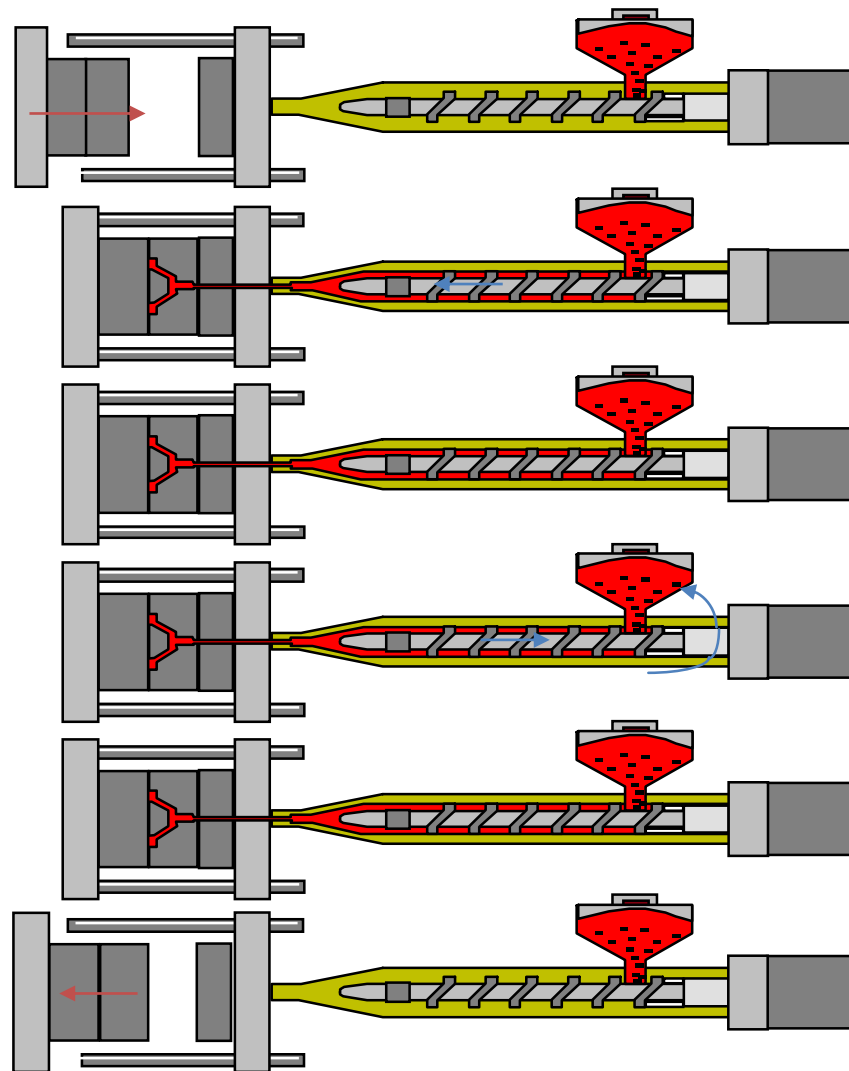
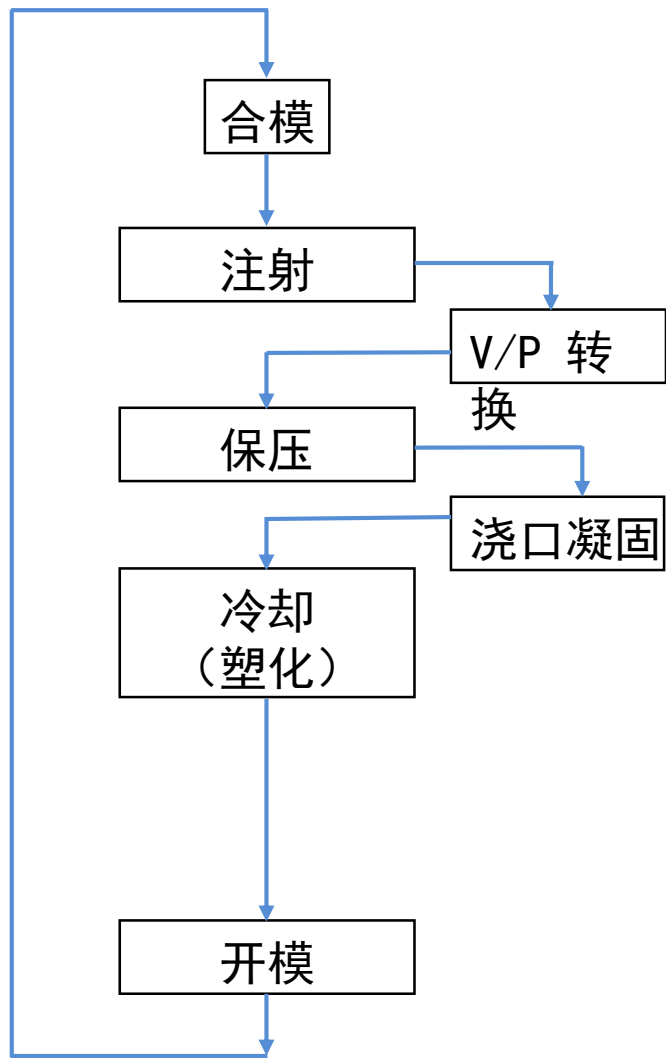
➤ 塑料机械的现状：工业2.5

- 模流分析、模具设计、数控加工 —— 大部分已数字化
- 模具，材料，机器，辅助设备：各自为政
- 成型控制多为开环；模内缺乏质量在线检测；全过程优化手段缺乏；数据集成依赖人工（未达数字化自动化）



▶ 注塑成型

■ 占30%以上，是最重要的塑料成型方式



中国塑机——高产量 低产值!

- 中低类机械为主
- 机械工艺水平相对较低，
控制系统水平差距巨大

项目	中国	广东省
注塑机保有量 (台)	100万	30万
注塑机年产量 (台)	10万	2.5万
注塑机产值 (元)	330.36亿	85亿



国产塑机利润低

以量为增长点的市场有限

产业升级势在必行

控制器是塑机的核心

塑机控制技术提升是塑料工业转型升级的关键

单机精密注塑控制

高分子成型过程及系统中心 (CPPS) 专注塑机30年

- 以香港科大教授、研究员为骨干的专业研究中心
- 致力于在成型过程中应用系统策略及技术提高产品质量，生产效率，促进节能环保
- 与广大工业企业及研究机构合作促进产业升级



➤ CPPS注塑机控制技术研发历程



80年代
微机控制系统

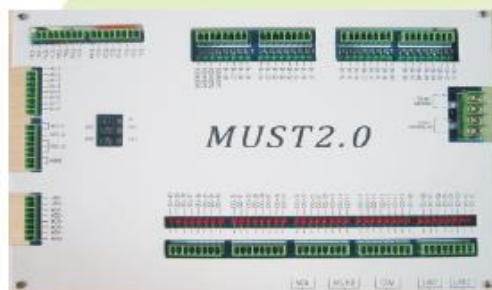


90年代
伺服阀
高精度、高成本



2000年
闭环比例阀
高精度、较高成本

● 注塑机控制系统技术的研发历程



最新 - MUST 4.0



现在
嵌入式控制系统
高精度、低成本

注塑机量身定创的
控制理论与技术

➤ CPPS注塑机精密控制技术

进口注塑机

- 加工精度高
- 稳定性高
- 重复性高
- 废品率低
- 价格较贵

成本高、速度快的伺服系统



国外控制器

国产注塑机

- 加工精度较低
- 稳定性较低
- 重复性较差
- 废品率较高
- 价格低廉

成本低、响应速度慢的比例系统



国内控制器

成本低、响应速度慢的比例系统



国外控制器

针对注塑机特点

注塑机精密控制系统

➤ 注塑机控制方法对比

方法	适用于	鲁棒性	瞬态响应性能	执行机构成本
自适应控制	连续过程	低	慢	高
迭代学习控制	完全重复过程	低	好	低
二维时间控制	批次过程	高	优异	低

➤ CPPS注塑机精密控制技术

原型产品（已在多台注塑机测试）



高精度：使原机加工水平达到甚至超过欧洲和日本同类机器

低成本：无需对原机机械系统做改动

适用对象：亚洲及国产注塑机

市场应用

◆ 注塑机生产厂家

- 在不增加额外成本的前提下，将注塑机的性能提高到中高档的水平，提高注塑机的性能及利润

◆ 注塑机使用厂商

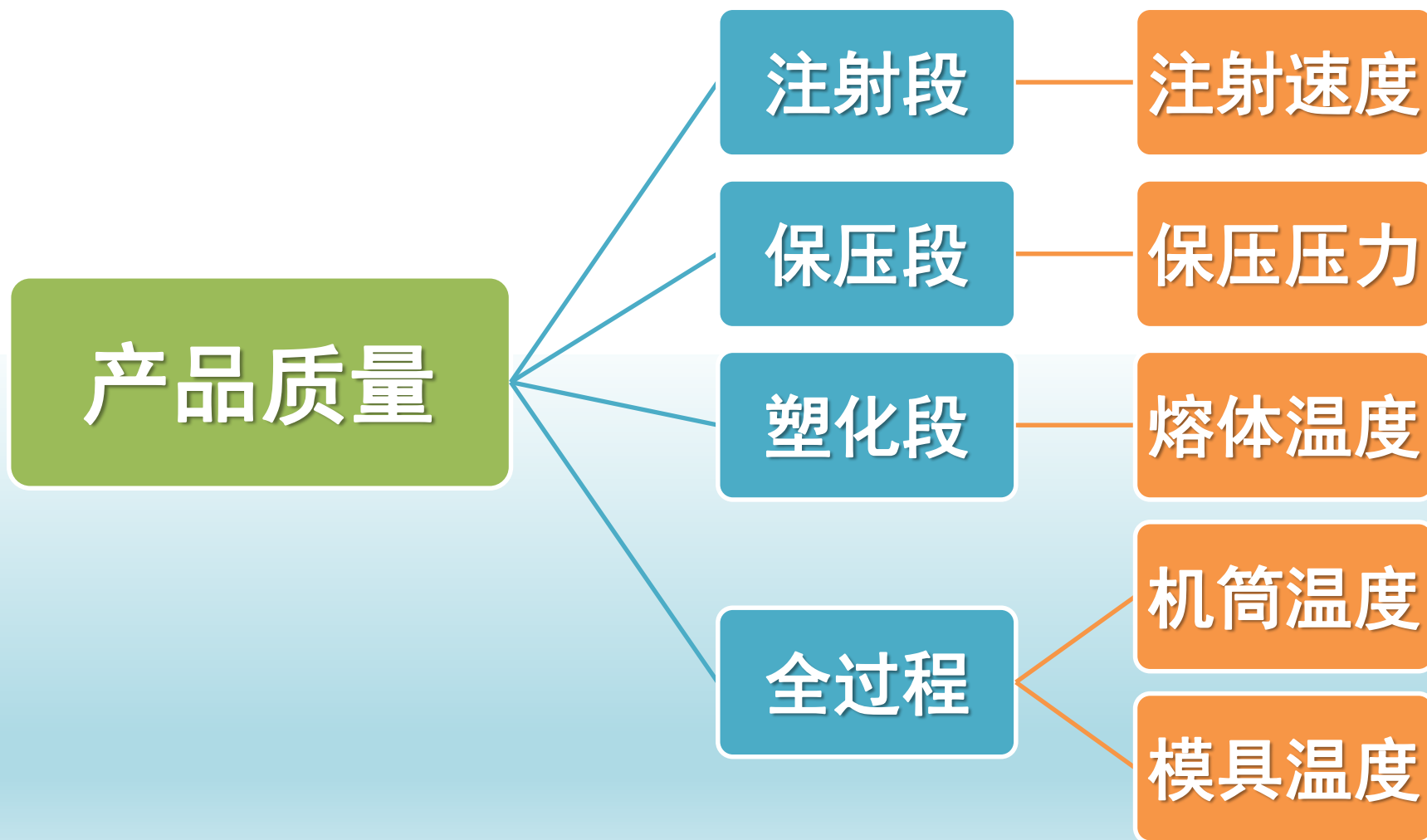
- 通过改造，提高原机的注塑精度，提高产品的质量及合格率

CPPS注塑机精密控制器

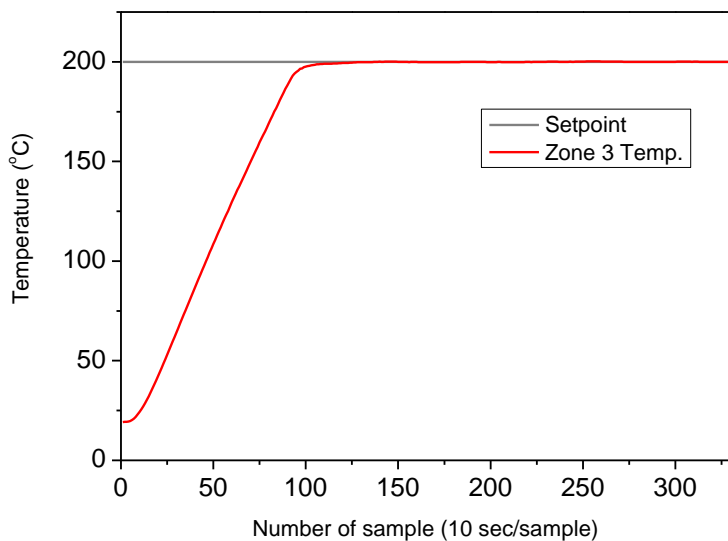
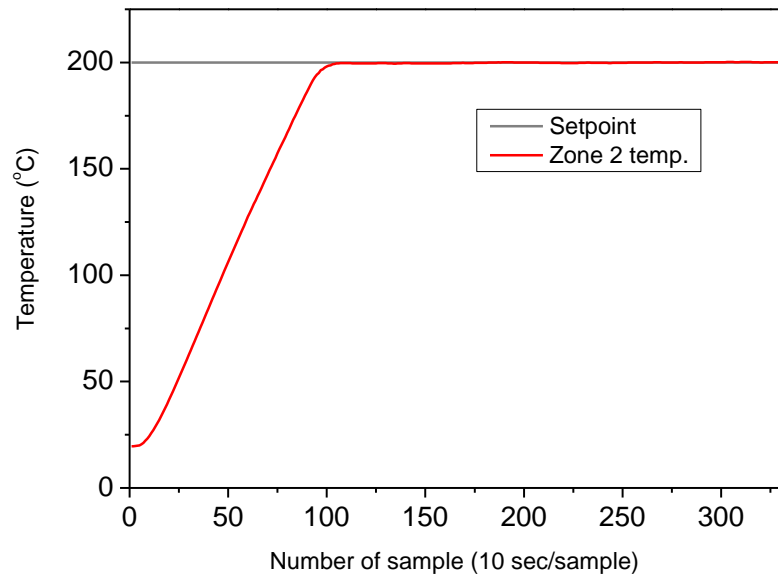
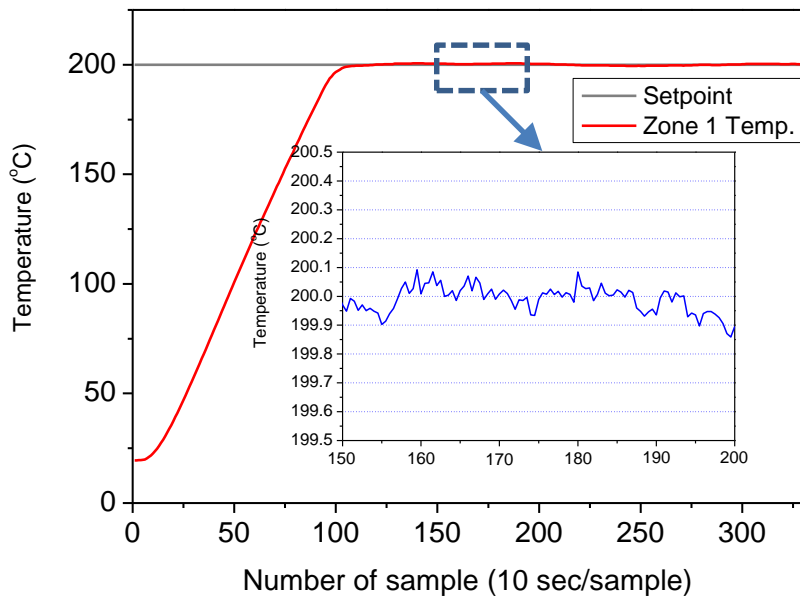
控制效果演示

➤ 注塑机控制结果举例

■ 注塑过程中的关键参数



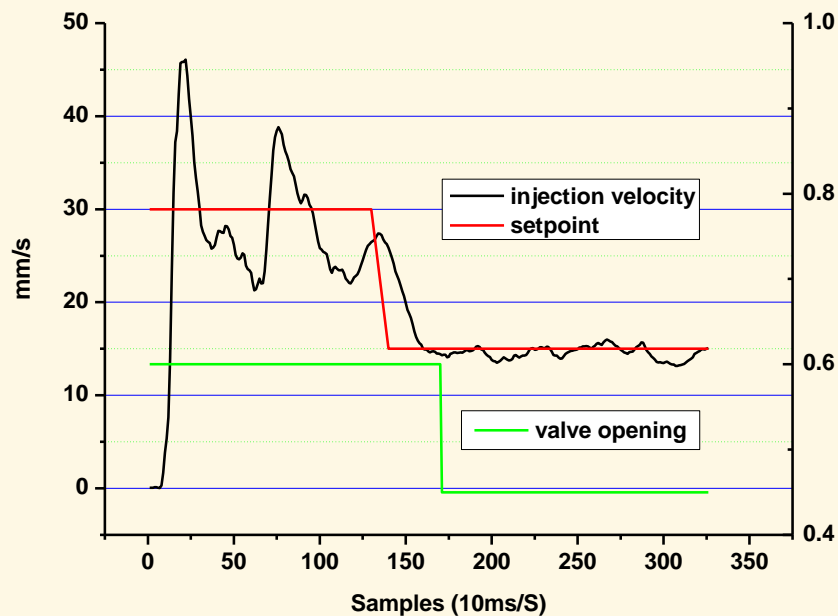
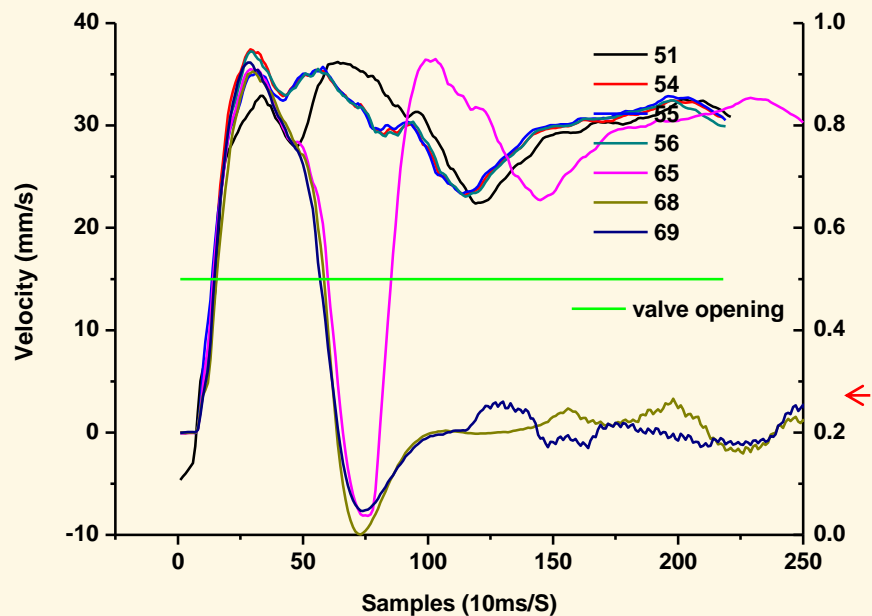
► 注塑机控制结果—机筒温度



评述:

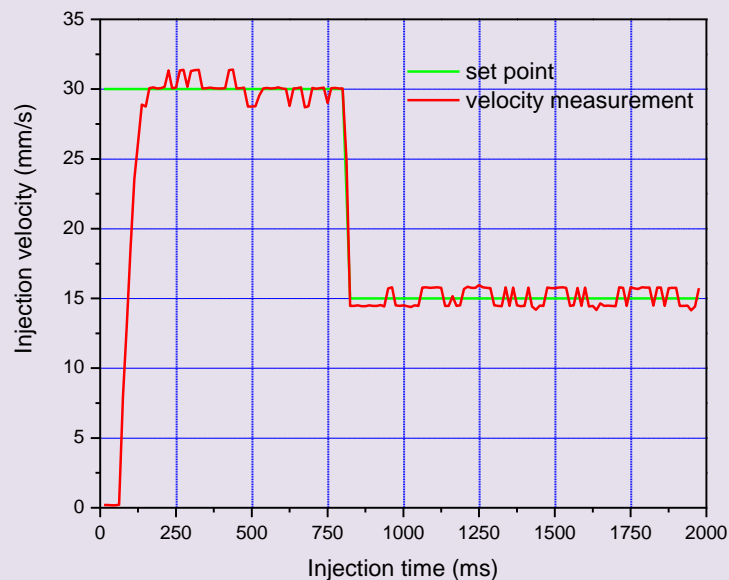
1. 从室温到200°C达到最快上升时间
2. 加温过程中没有显著的温度超调
3. 稳态温度波动很小(在0.3°C以内)
4. 所有加热段的控制性能均良好
5. 性能比现有控制器提高了5-10倍

► 注塑机控制结果—注射速度

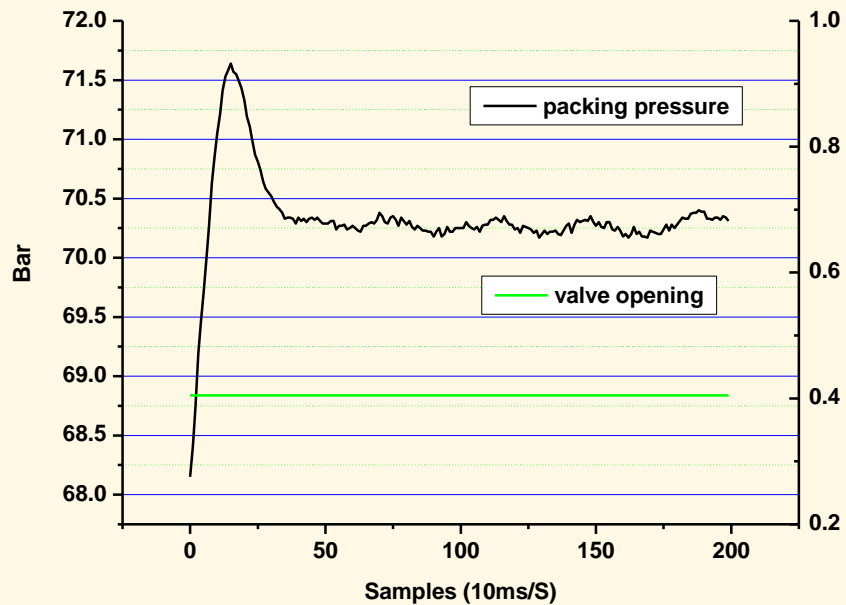


注射速度控制结果
(传统控制器)

注射速度控制结果
(CPPS控制器)

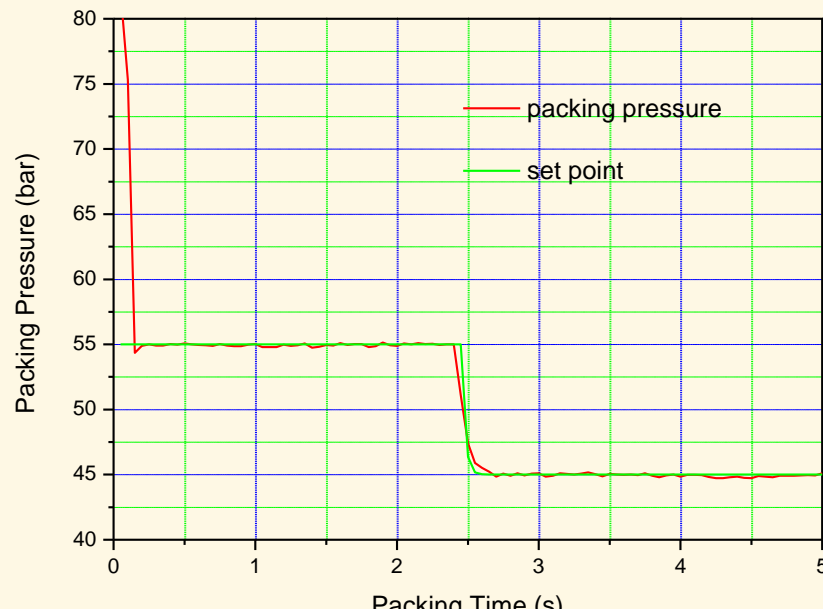
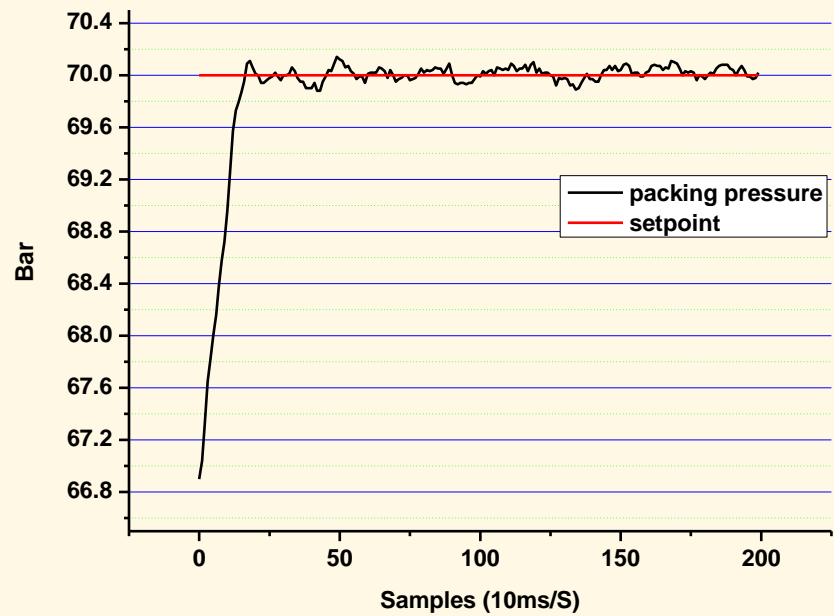


► 注塑机控制结果—保压压力

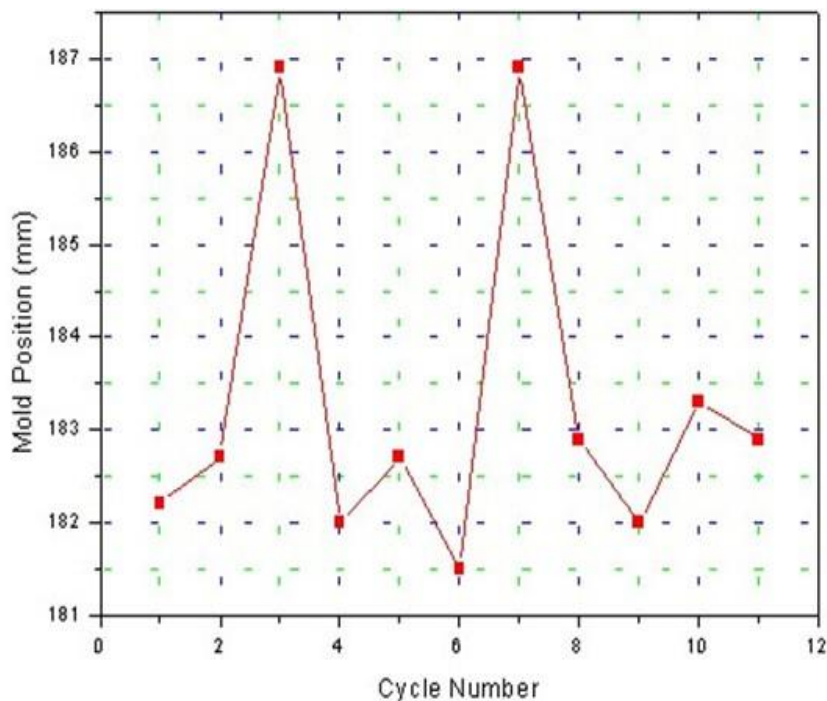


保压压力控制结果
(传统控制器)

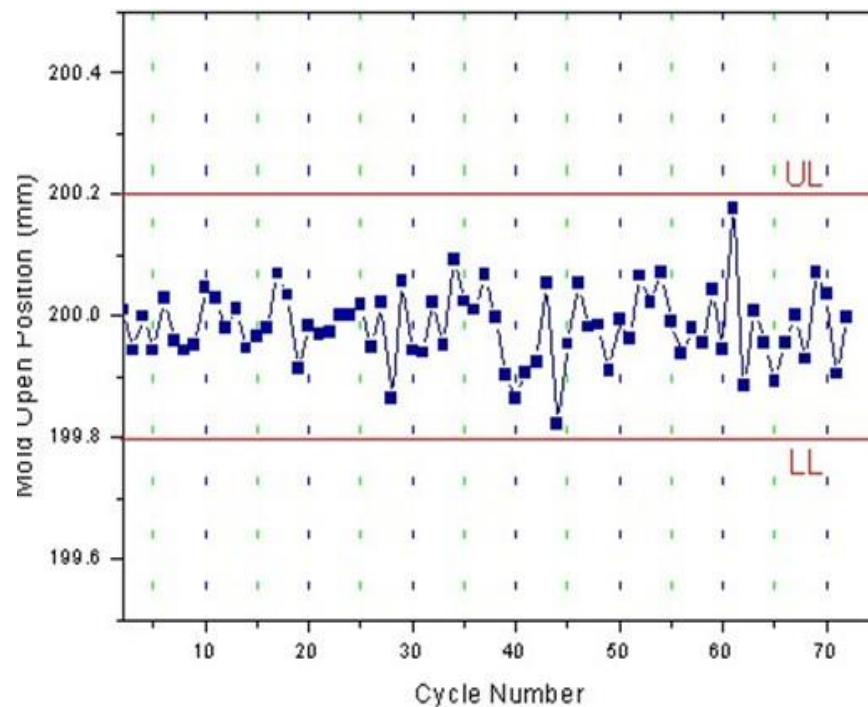
保压压力控制结果
(CPPS控制器)



► 注塑机控制结果—模具定位

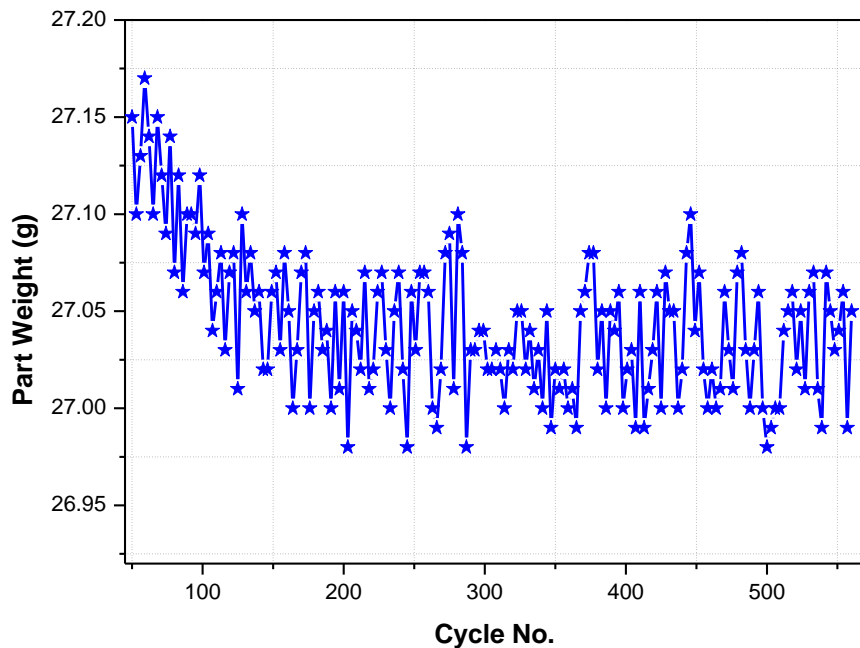


原控制系统模具定位的控制结果



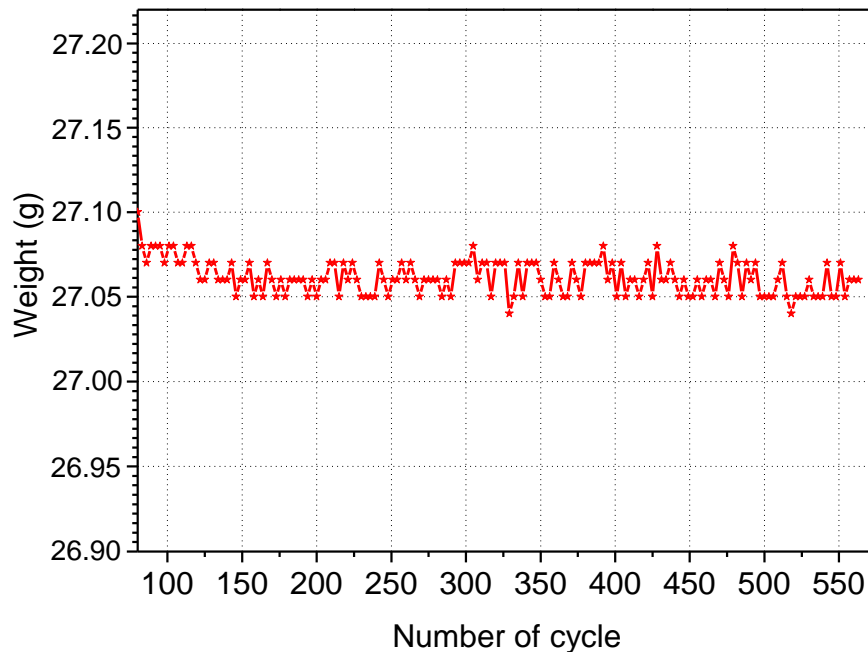
CPPS控制软件模具定位的控制结果

▶ 注塑机控制结果—产品重量



不用CPPS控制

- 重量波动: 0.12g 精度约为 $\pm 0.4\%$



CPPS控制

- 重量波动: $\pm 0.02\text{g}$ 精度为 $\pm 0.07\%$

➤ 关键注塑参数控制精度比较

参数	国内（典型）	欧美、日本（典型）	CPPS 精密控制系统
超调温度	5-30°C	2-5°C	1°C
稳态温度	约3°C	约1°C	0.4°C
开/锁模定位	3-5mm	约0.5mm	0.2mm
注塑速度	开环控制	闭环控制，需高速、高成本的伺服阀	闭环控制，低成本的比例阀
保压压力	开环控制	闭环控制，需高速、高成本的伺服阀	闭环控制，低成本的比例阀

精密控制

材料



模具



注塑机

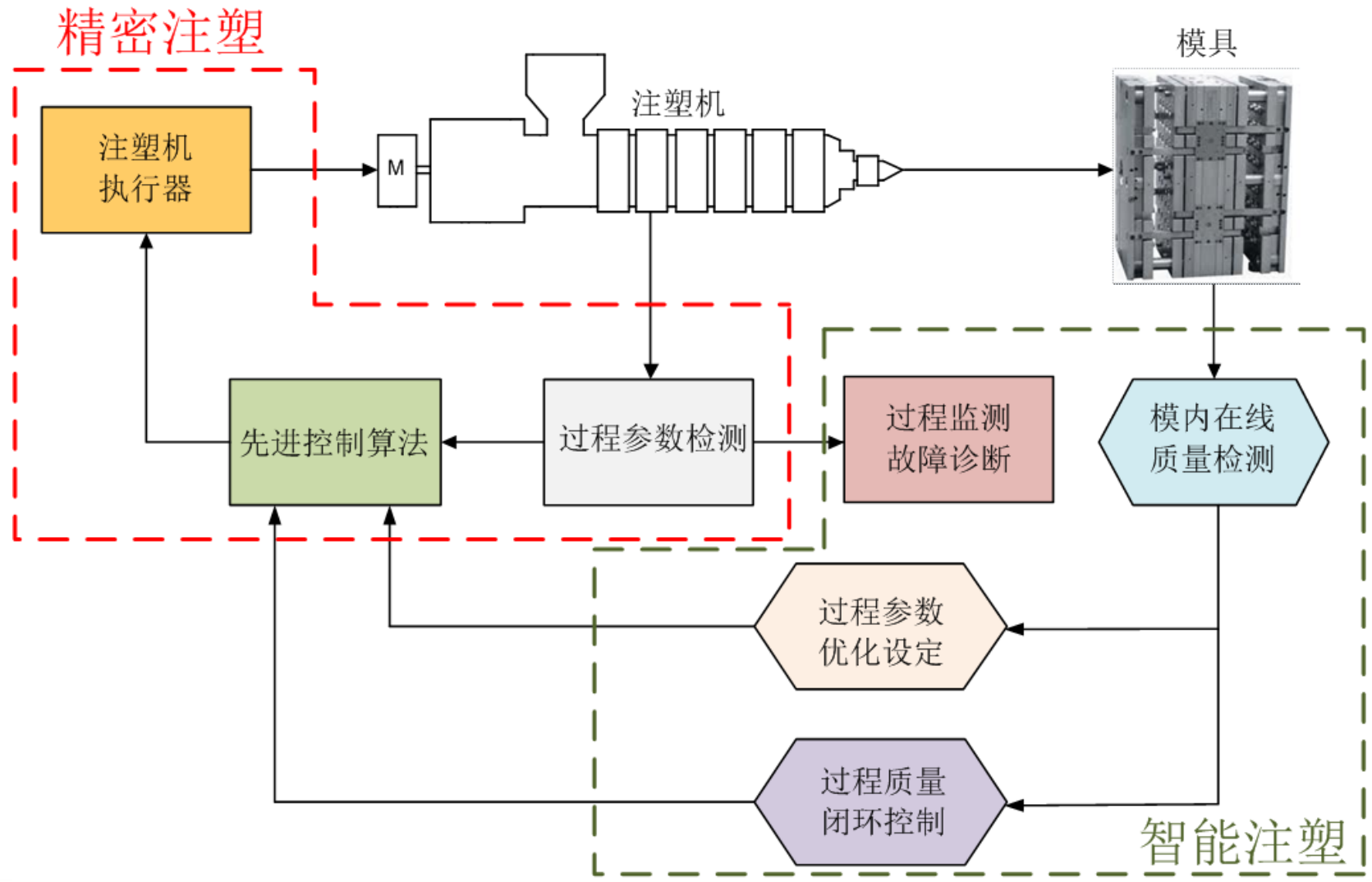
三者**有机结合**是高性能塑料制品质量的保障

智能控制

单机智能注塑控制

► 注塑机智能控制技术

■ 模塑集成



► 注塑过程智能控制关键技术

■ 过程多阶段过程监测系统

- 注塑过程故障监测
- 注塑过程故障诊断
- 注塑过程故障自修复

■ 模具内在线感知系统

- 模具内在线感知
- 在线数据表征和解读
- 过程知识建立和应用

■ 多目标优化设定系统

- 过程无模型优化技术

■ 质量控制保障系统

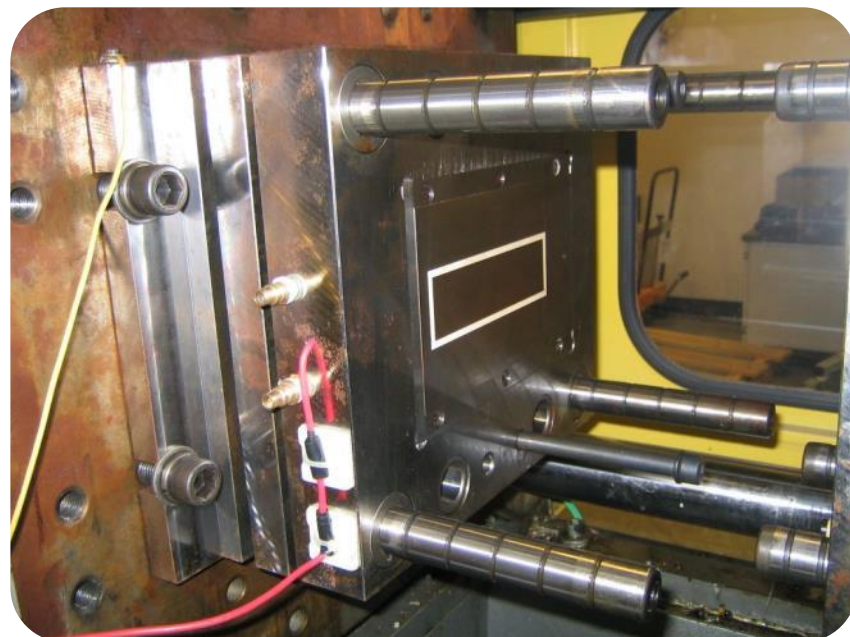
- 客户关注的质量控制

➤ 模具内在线感知技术

原型实体图



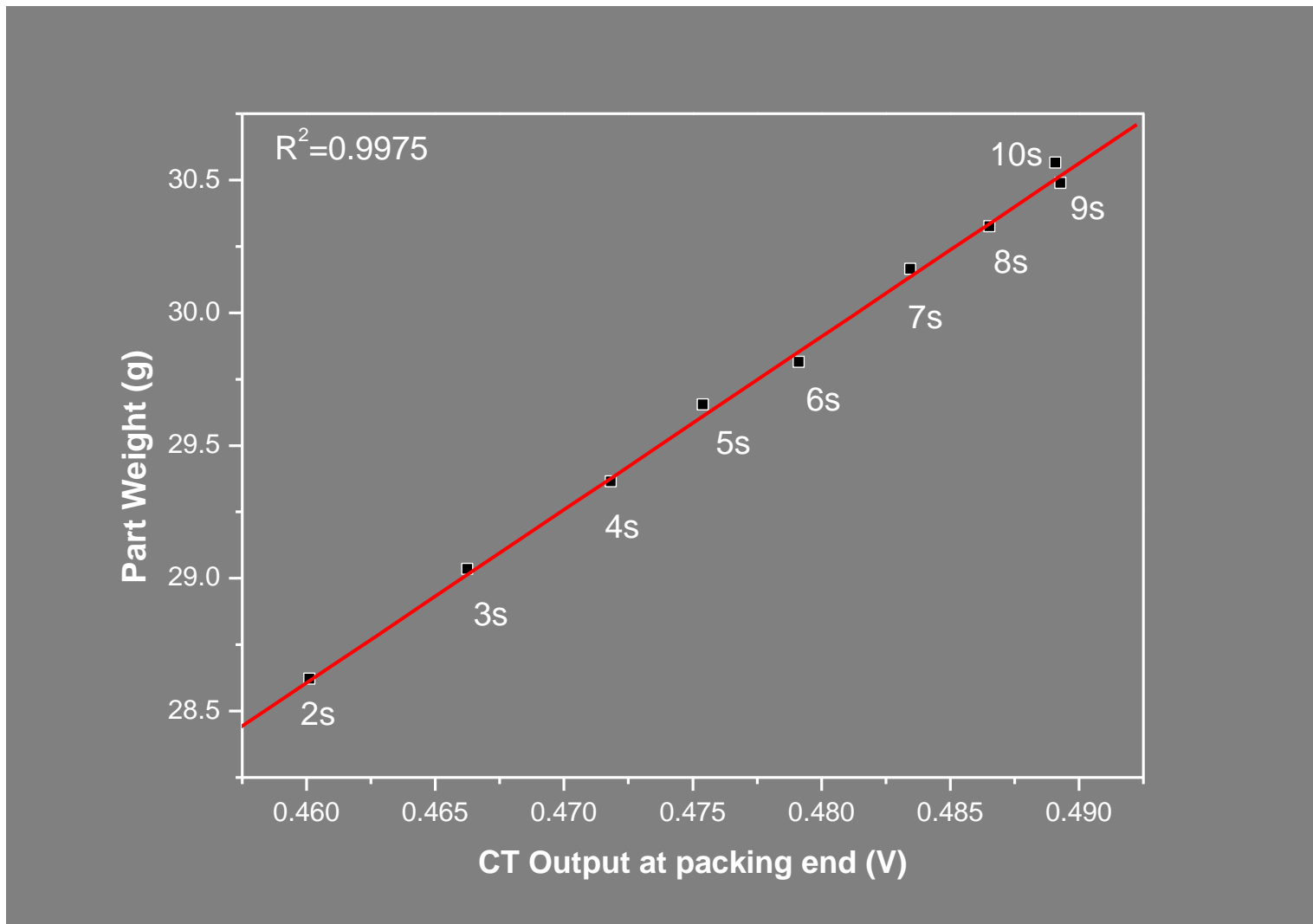
正面视图



背面视图

➤ 模具内在线感知技术应用示例

在线制品重量预测结果



➤ 模具内在线感知技术

• 注射段

检测熔体流入模腔的时间

检测注射与保压的切换点

直接测量熔体位置与速度

检测过充与模具分离

检测欠注

• 保压段

检测浇口冷凝时间

在线重量测量（使直接质量控制成为可能）

检测过保，溢边

特点与优势

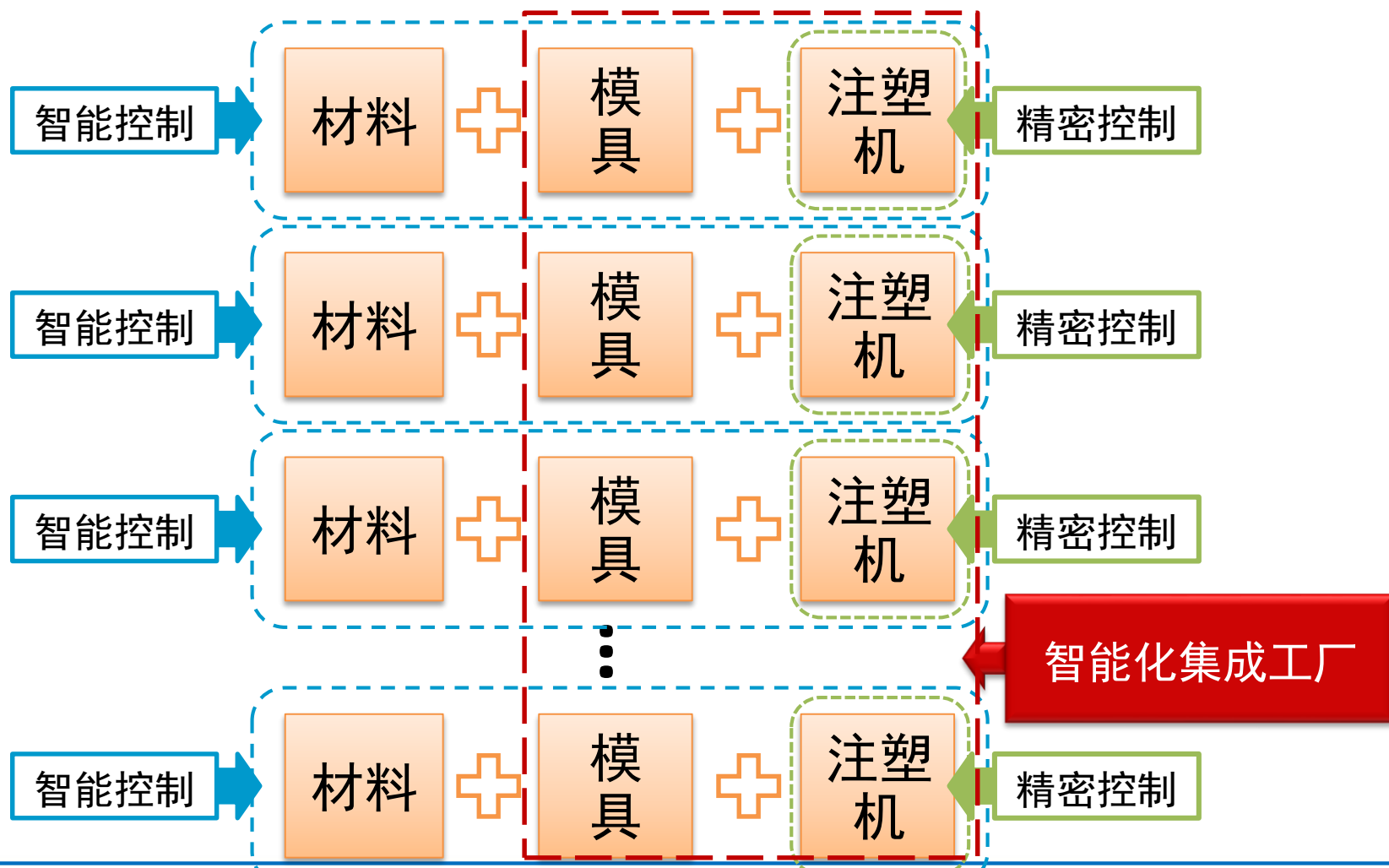
- 单传感器对整个注射全过程测量和监测（一传多感）
- 实用性的设计、可靠的结构和较低的成本（简单可靠）

• 冷却段

测量冷却/固化速率

➤ 行业发展提出新的需求

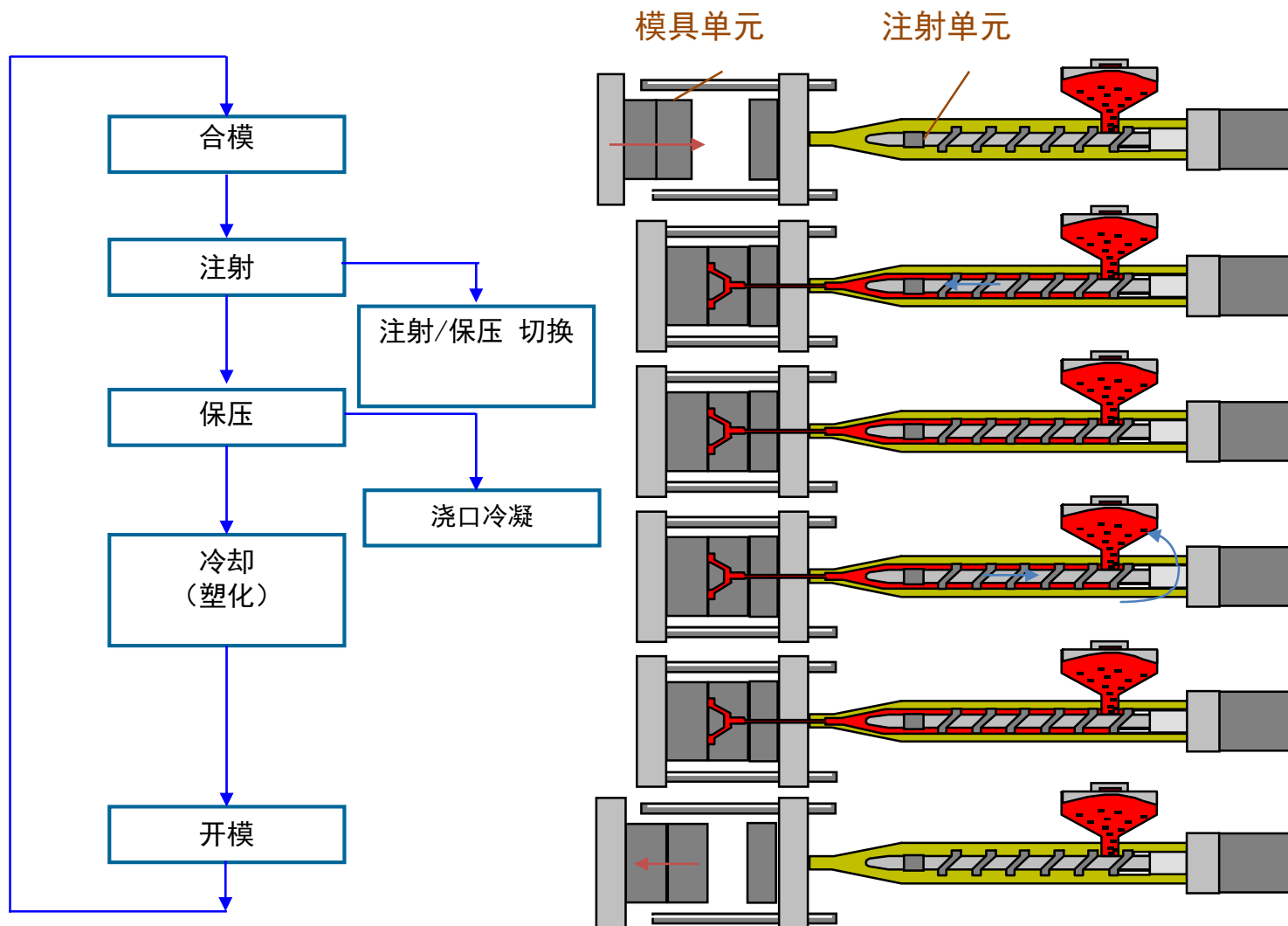
- 现行模式：单机独立运作，分别控制
- 各类成本上升，利润下降 → **如何集约资源，提高市场竞争力？**



智能集成化注塑工厂

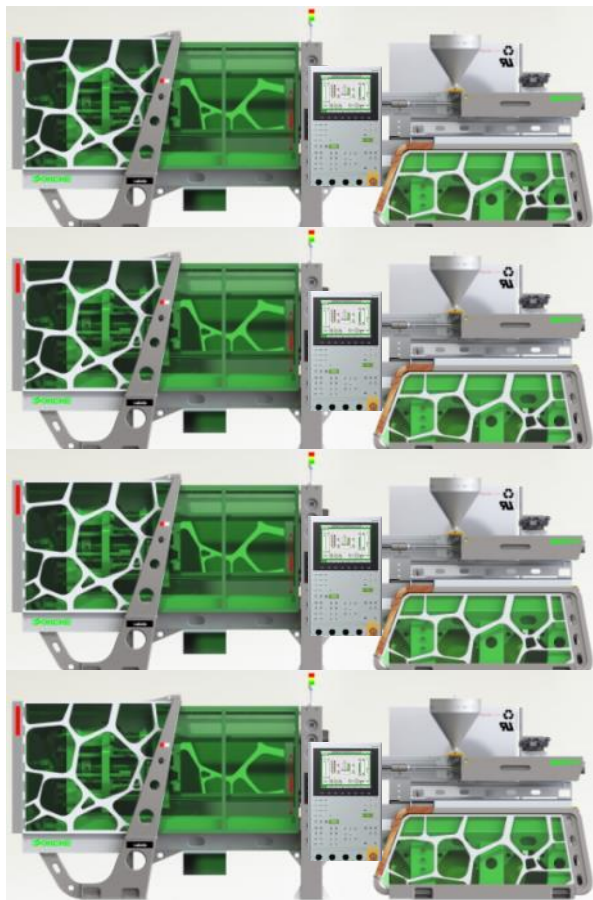
➤ 影响行业可持续发展的问题 (1)

■ 执行单元互相等待，空闲时间长

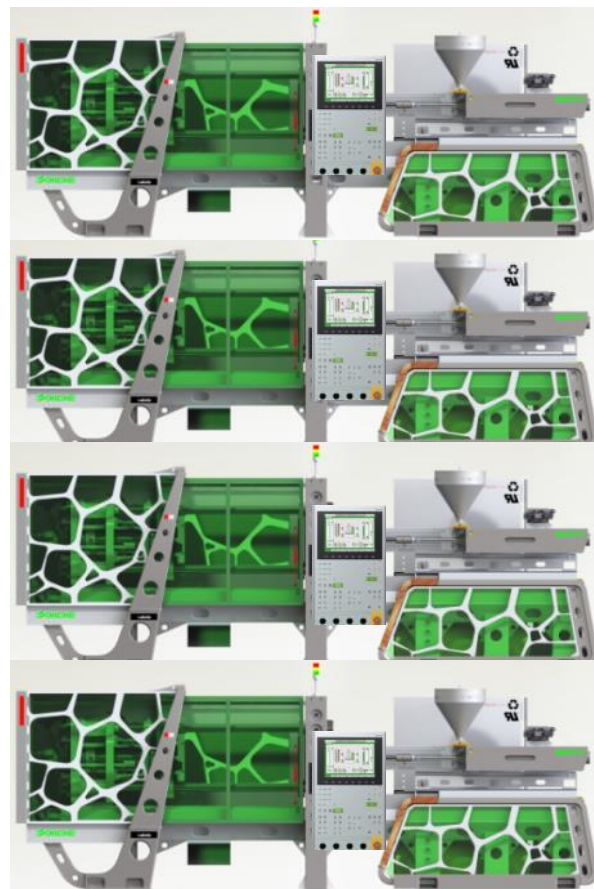


➤ 影响行业可持续发展的问题 (2)

■ 控制机构冗余



注塑工厂



➤ 影响行业可持续发展的问题 (3)

空间利用率低

水平方向 & 垂直方向

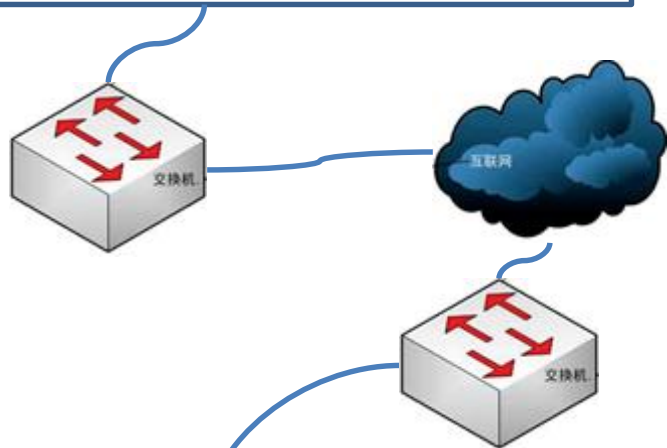
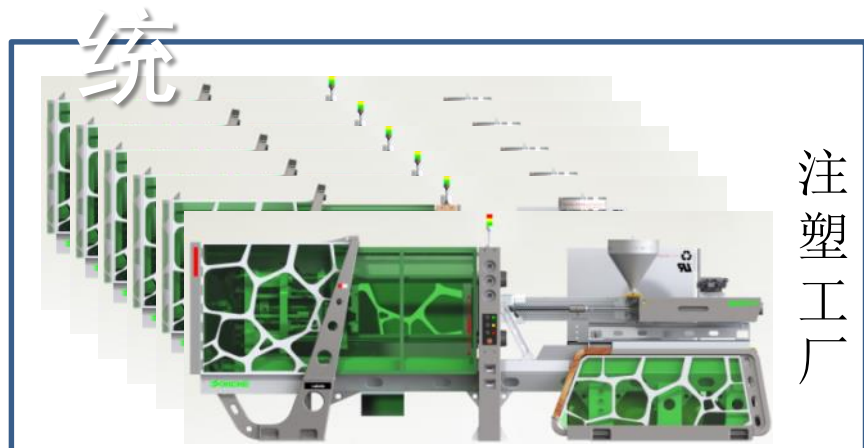


➤ 影响行业可持续发展的问题 (4)

人力成本上升 &
信息化程度低



➤ 提案：基于云计算的移动MUST控制系统



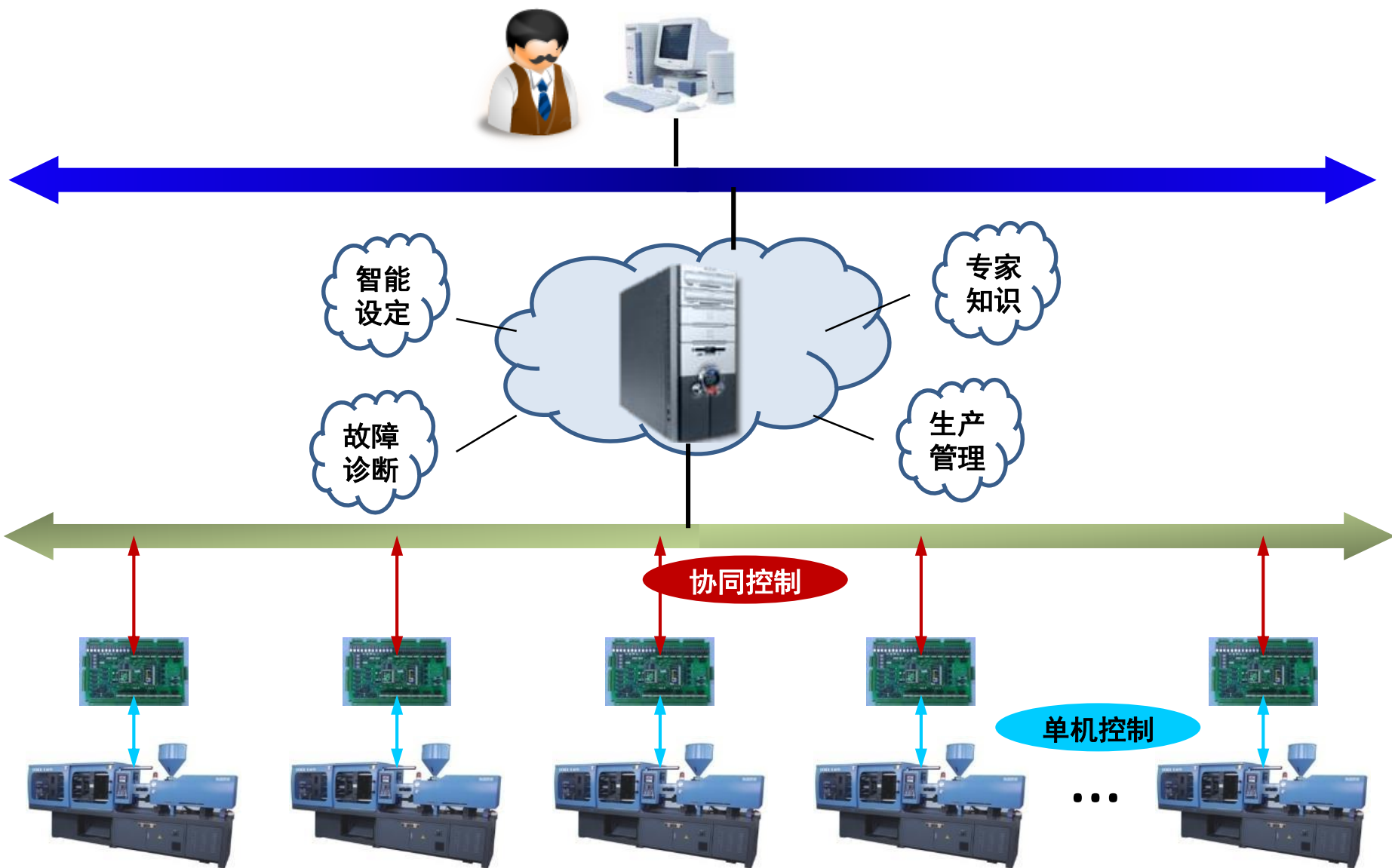
移动服务



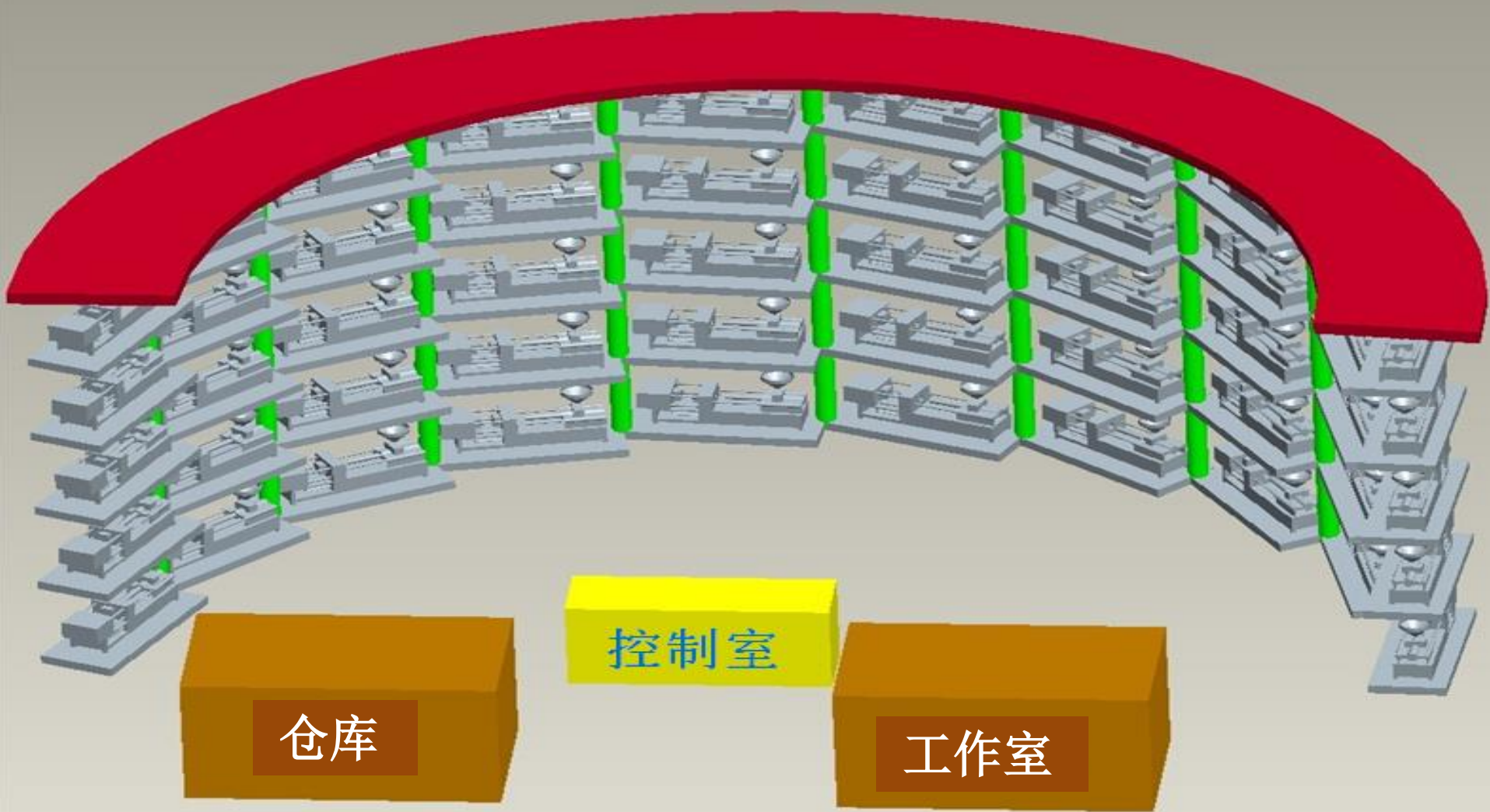
随时随地
一手掌控

基于云平台的云计算服务中心

➤ 提案：信息智能集成



➤ 提案：空间布局优化



总结

- 塑料工业与国计民生息息相关，注塑工业的发展在国家工业发展中占据重要地位
- 我国注塑工业急需转型升级
- 工业4.0背景下注塑工业**转型升级三步走**
 - **第一阶段**：单机精密控制
 - **第二阶段**：单机智能控制
 - **第三阶段**：智能集成化注塑工厂
 - 机构高效利用
 - 信息智能集成
 - 空间布局优化

谢 谢！
