

工业4.0：从数字化制造到智能制造

报告提纲

一、为什么要发展智能制造？

二、工业4.0与智能制造

三、数字化制造及其研究进展

四、智能制造技术及应用展望

1. “中国制造”改变着整个世界

改革开放30多年来，科技进步在制造领域发挥了重要作用，“人口红利”与“政策红利”相辅相成，显著提高了“中国制造”产品的市场竞争力。

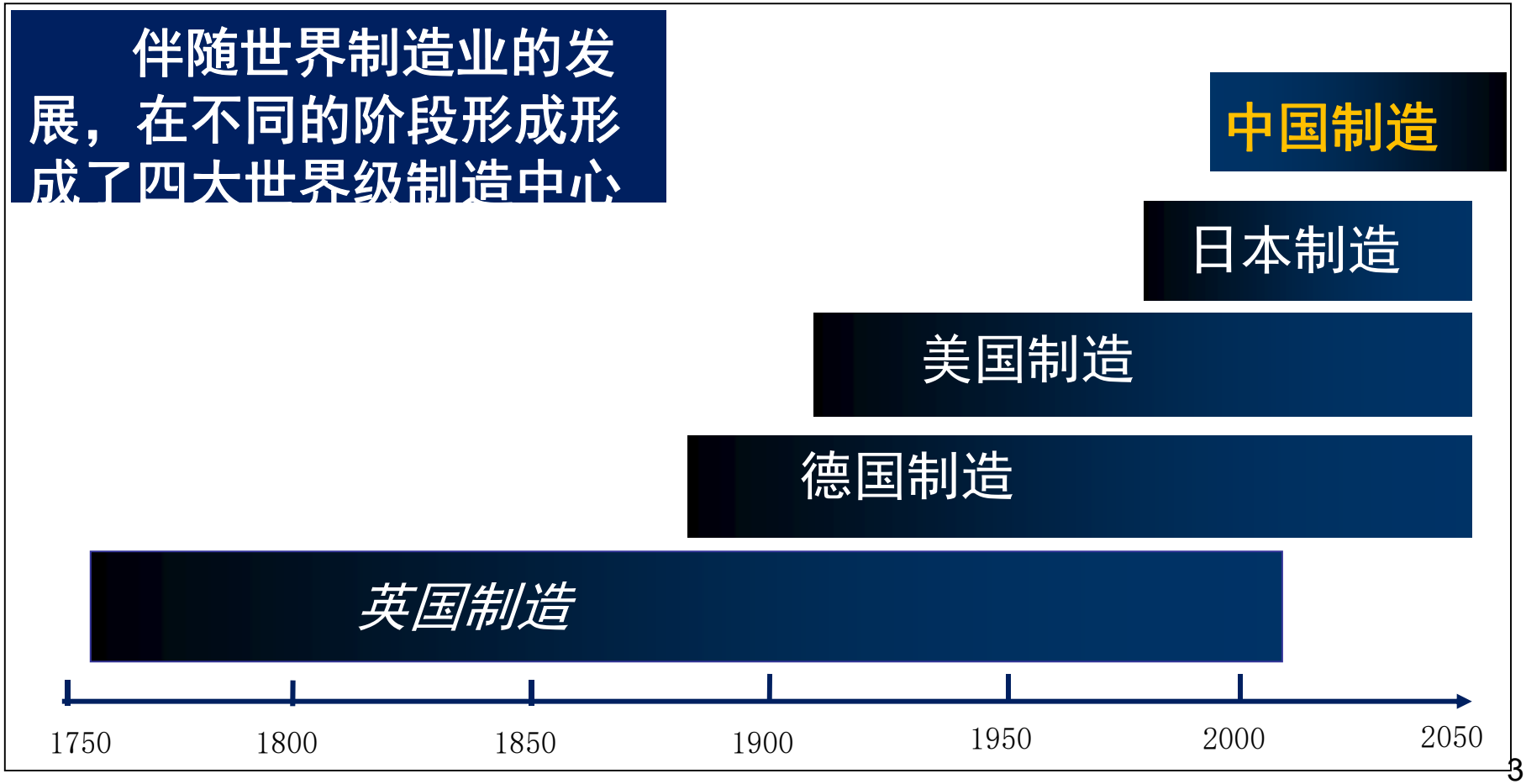






1. “中国制造”改变着整个世界

中国已经成为全球第二大经济体。中国极可能成为“第五个”世界制造中心



1. “中国制造”改变着整个世界

❒ 欧美采取贸易保护反制

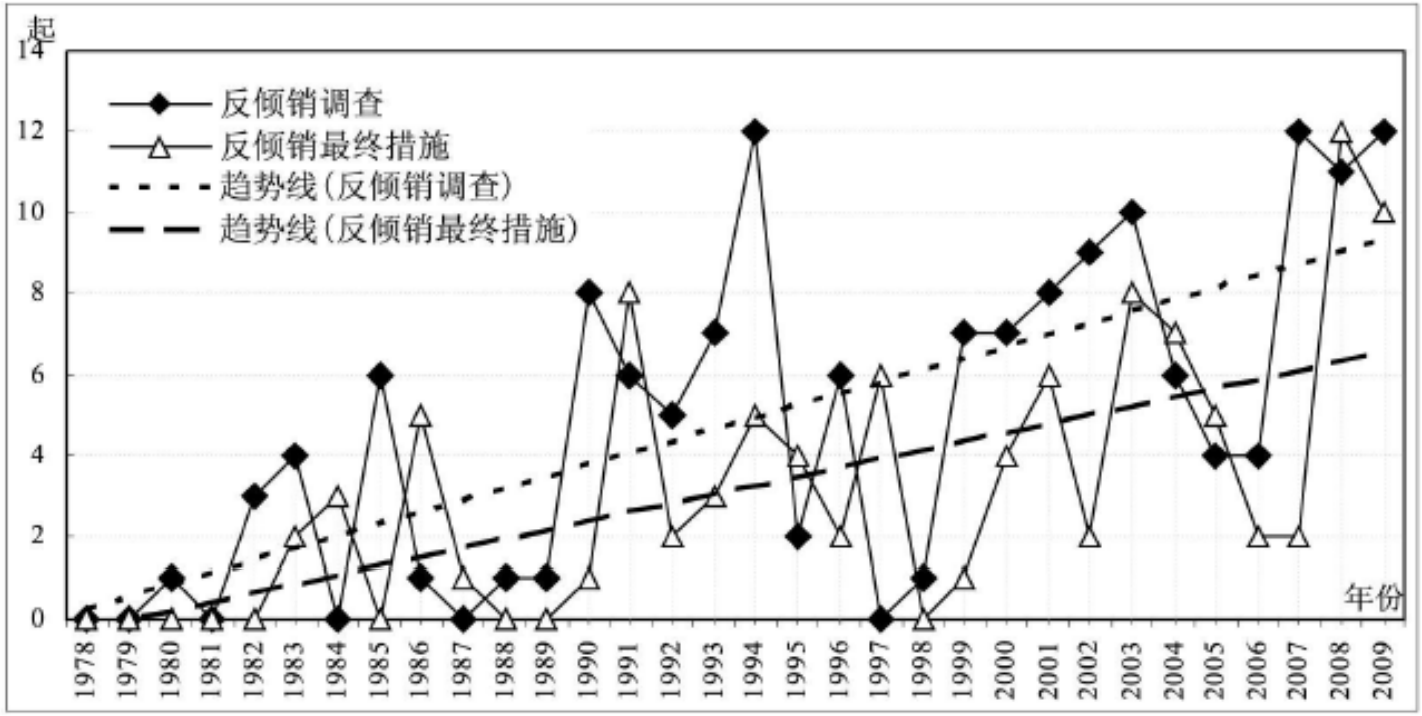


图 1　美国对中国产品反倾销调查和反倾销最终措施数量: 1978– 2009 年

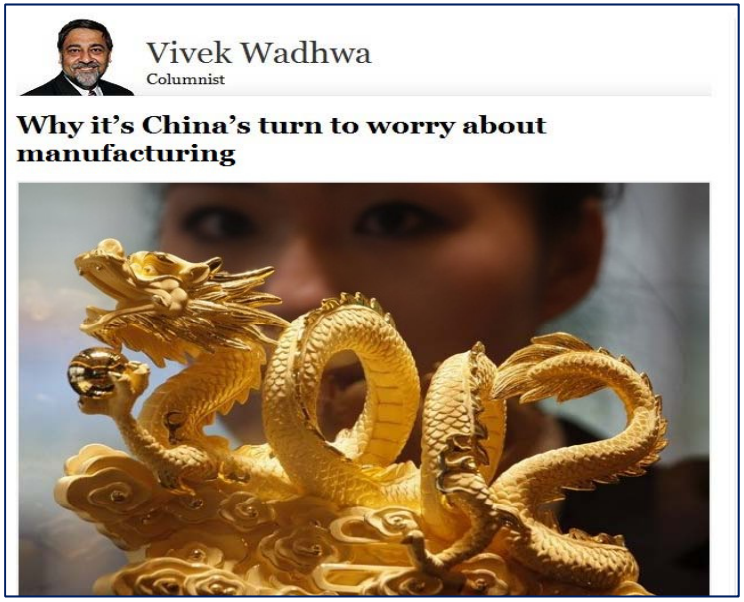
自1994 年人民币汇率改革以来，在中国保持对美商品出口快速增长的同时，美国对中国产品反倾销调查和反倾销最终措施数量也有了大幅地增长。

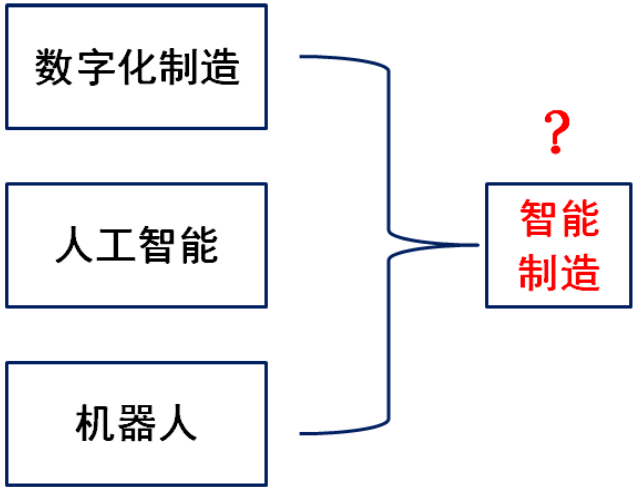
2. 美国对“中国制造”的忧虑

❒ 寻求技术跨越

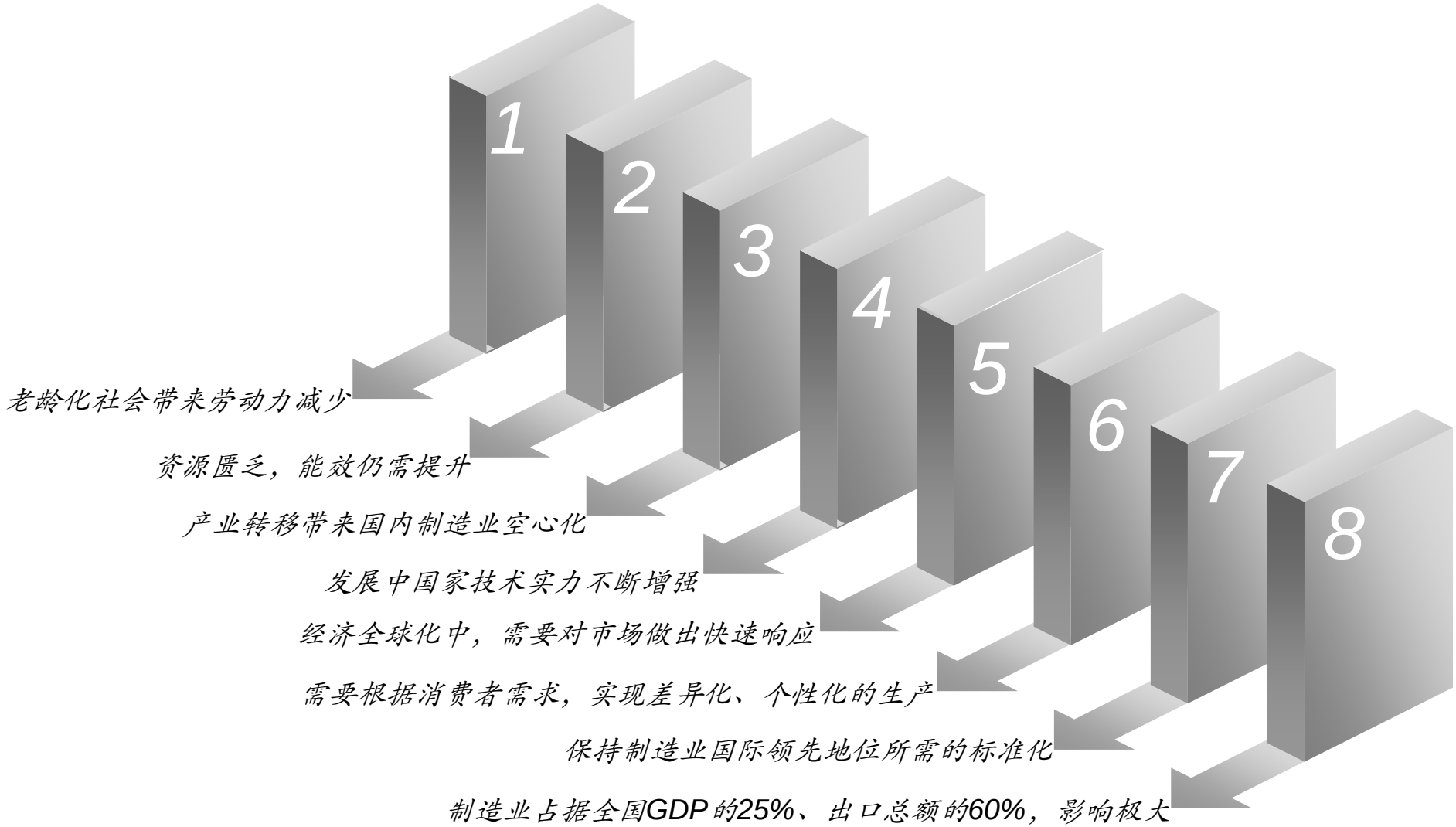
美国奇点大学著名教授瓦德瓦2012年1月11日在《华盛顿邮报》认为：

我们将人工智能、机器人和数字制造相结合，使得美国企业家在本土建厂，生产出各种产品， 这是一场制造业的革命。中国还如何能与我们竞争？很快就轮到中国担忧了。





3. 德国制造业面临的压力

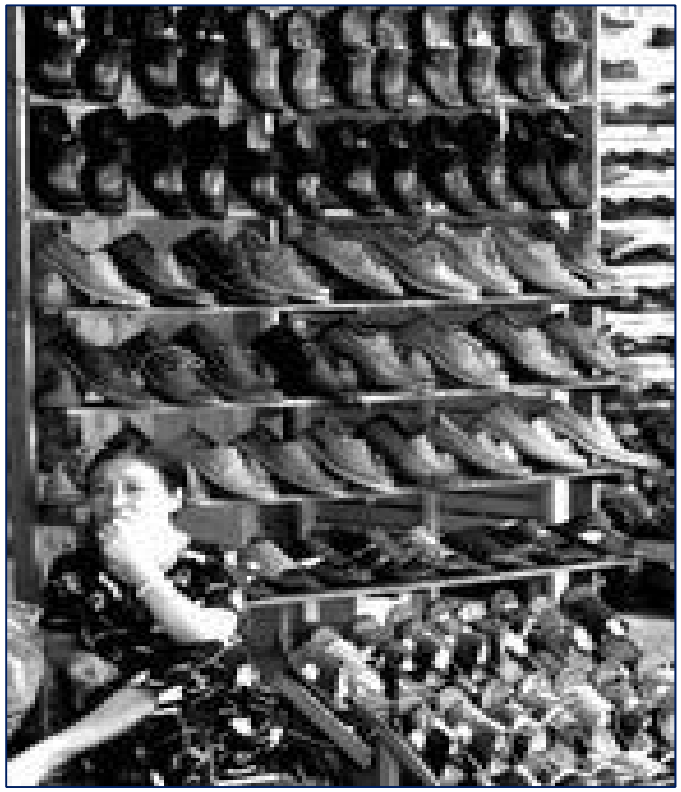


4. “中国制造”亟待技术跨越

❒ 产品质量有待提高

✓在产业链的下游：核心技术亟待加强

✓与欧美产品相比：质量存在明显差距











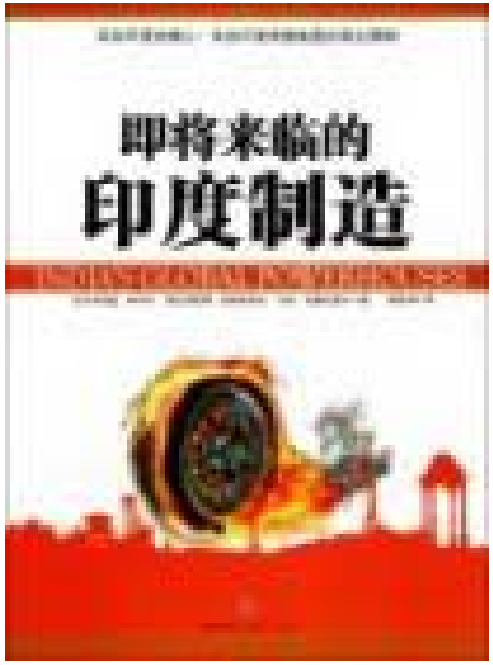
4. “中国制造”亟待技术跨越

❒ 从价格优势到技术优势转变



国内：

- ✓ 成本上升（人力、土地、能源）
- ✓ 用工荒（技术工人不足）
- ✓ 国家出口退税政策变化



国外：

- ✓ 周边国家新制造工厂的兴起
  - ☙越南
  - ☙印度

报告提纲

一、为什么要发展智能制造？

二、工业4.0与智能制造

三、数字化制造及其研究进展

四、智能制造技术及应用展望

1. 工业革命发展历程









第四次工业革命
智能化工厂
智能装备及信息通信

第三次工业革命
高自动化柔性生产
计算机信息技术驱动

第二次工业革命
批量流水线生产
电力驱动

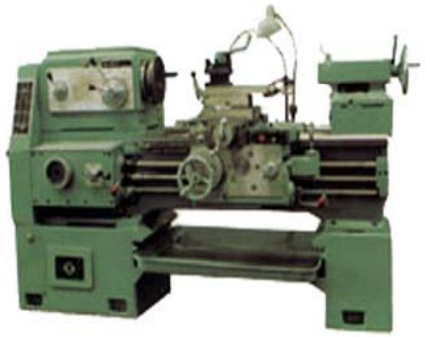
第一次工业革命
机械化生产
蒸汽驱动

18世纪末　20世纪初　70年代初　至今

1. 工业革命发展历程



蒸汽机



普通机床



数控机床



智能机床

加工装备
+
电动机
=
电气化

机床
+
电脑
=
按编程操作
适应能力低

数控机床
+
智能控制
=
工艺优化
提升30%-3倍

工业1.0：机械化

工业2.0：电气化

工业3.0：数字化

工业4.0：智能化

1. 工业革命发展历程



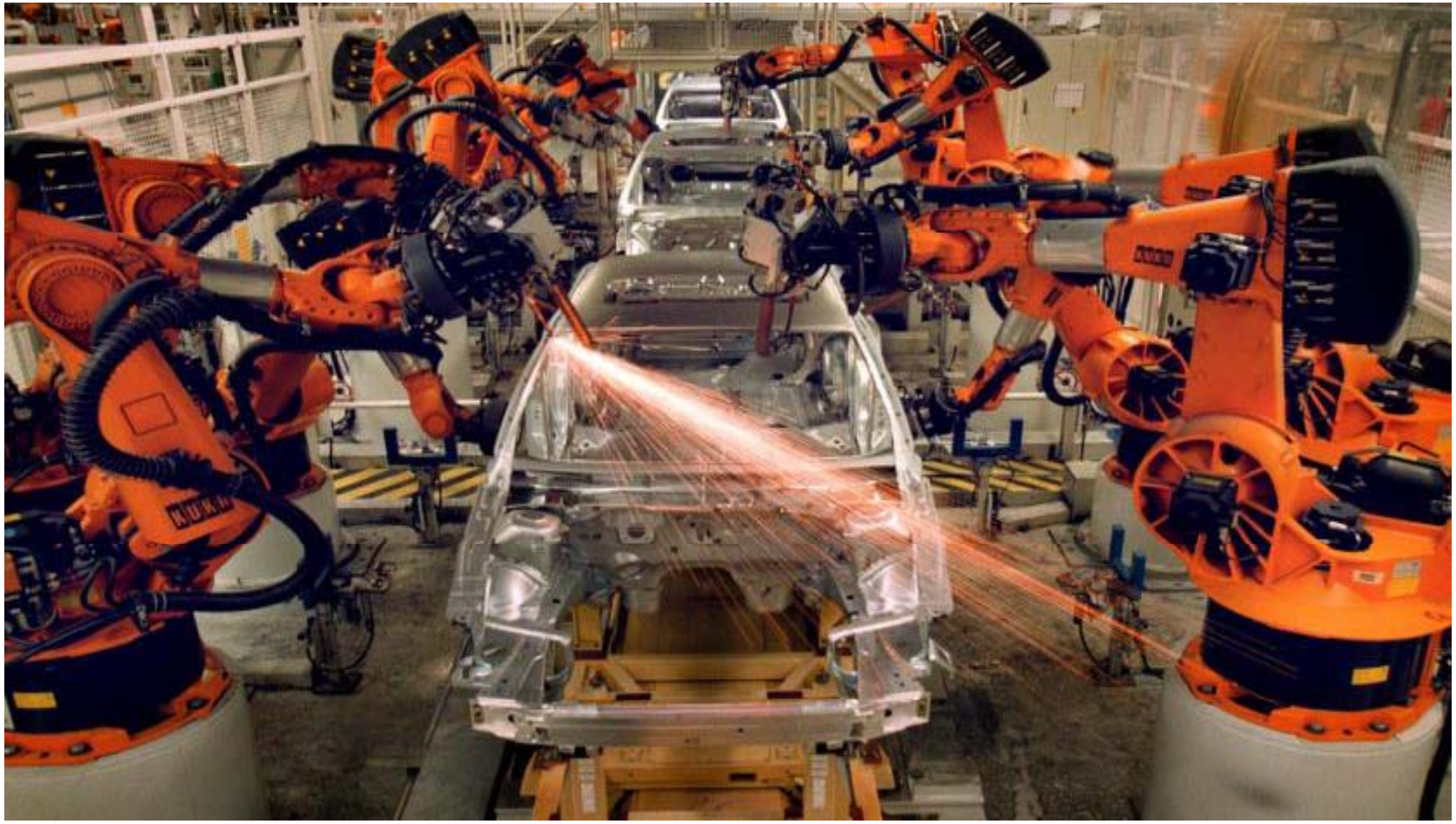
工业 1.0

1. 工业革命发展历程



工业 2.0

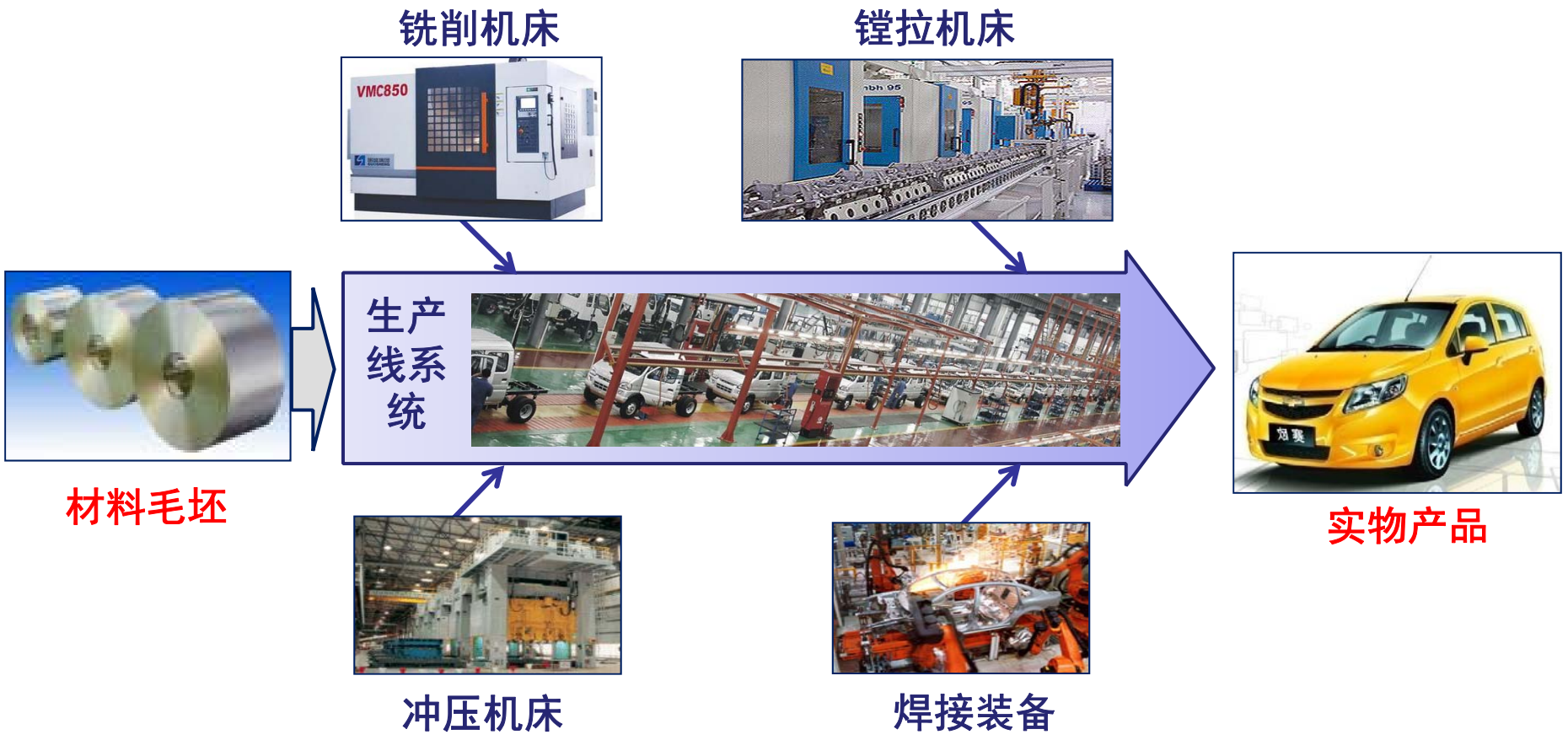
1. 工业革命发展历程



工业 3.0

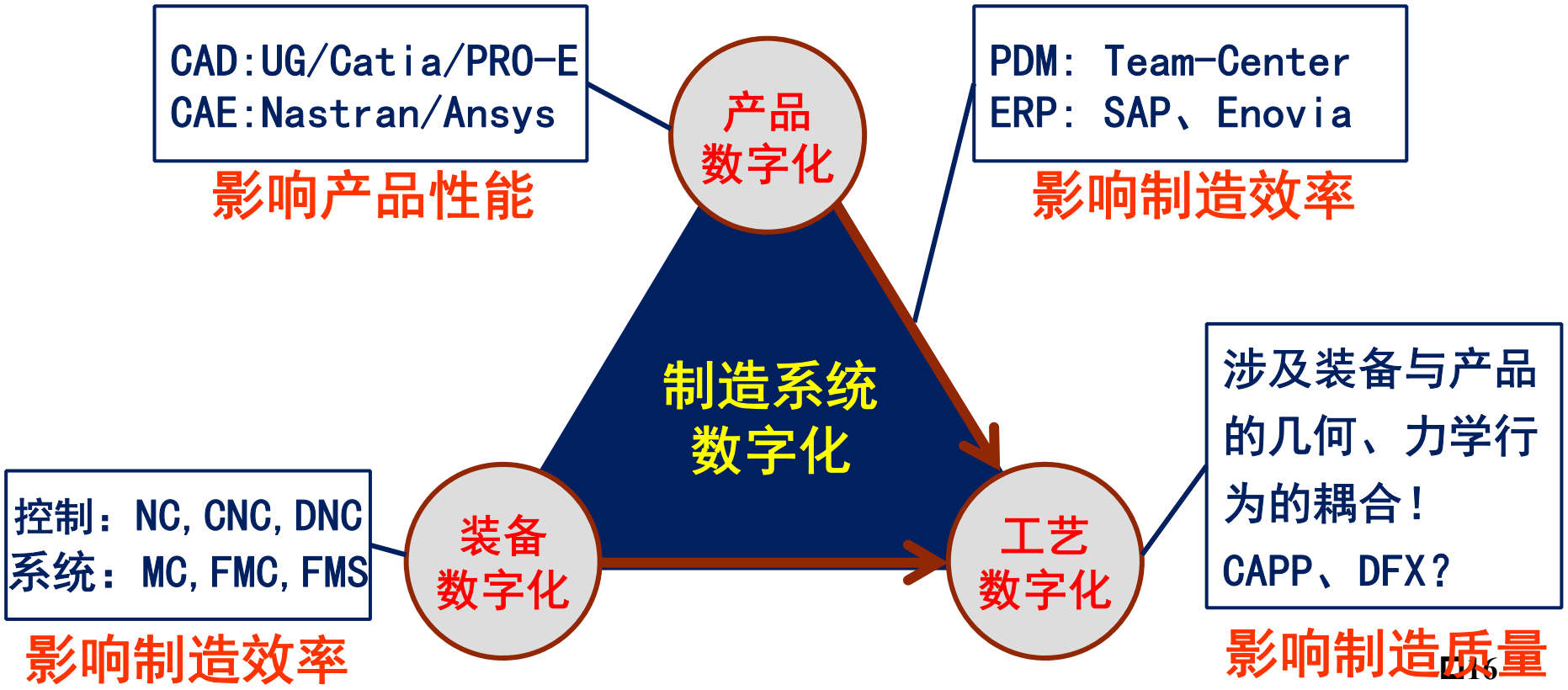
2. 数字化制造的特征

采用数学化仿真手段，对制造过程中制造装备、制造系统以及产品性能进行定量描述，使工艺设计从基于经验的试凑向基于科学推理转变。

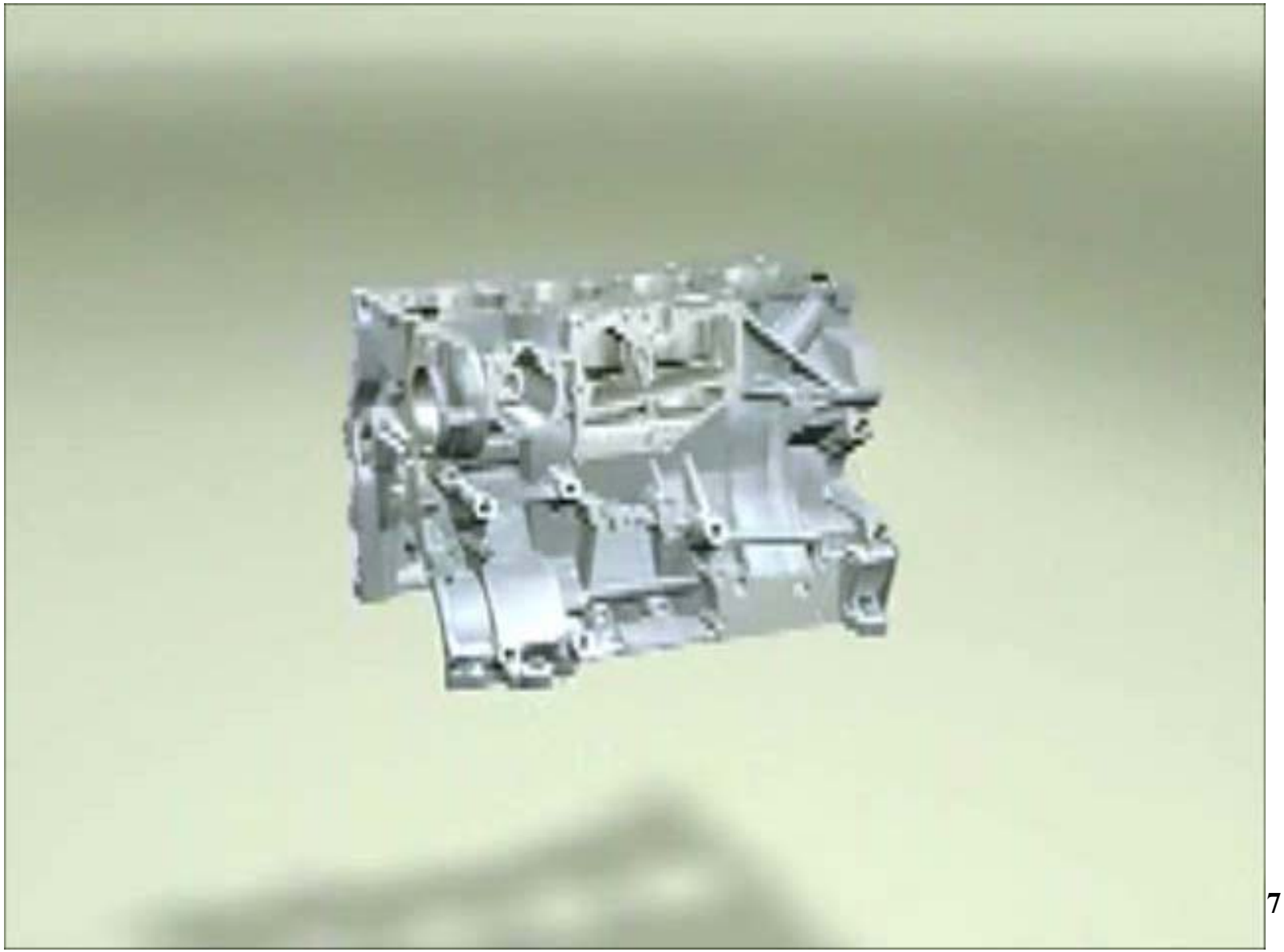


2. 数字化制造的特征

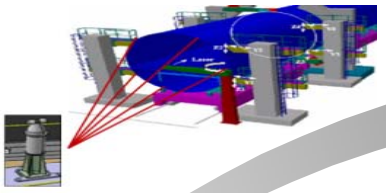
数字化技术体系：产品表达数字化、制造装备数字化、制造工艺数字化、制造系统数字化。

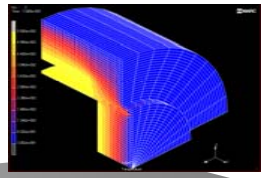


2. 数字化制造的特征



3. 智能化制造的特征





工艺设计

智能化、知识化

✓制造工艺的智能设计

✓制造工艺的实时规划

传感检测

信息化、实时化

✓装备运行境检测

✓制造质量的检测





控制执行

柔性化、自动化

✓装备自动控制

✓装备柔性操作

报告提纲

一、为什么要发展智能制造？

二、工业4.0与智能制造

三、数字化制造及其研究进展

四、智能制造技术及应用展望

1. 数字化手段有效地提升了产品开发质量

❒ 飞机数字化开发（B777）



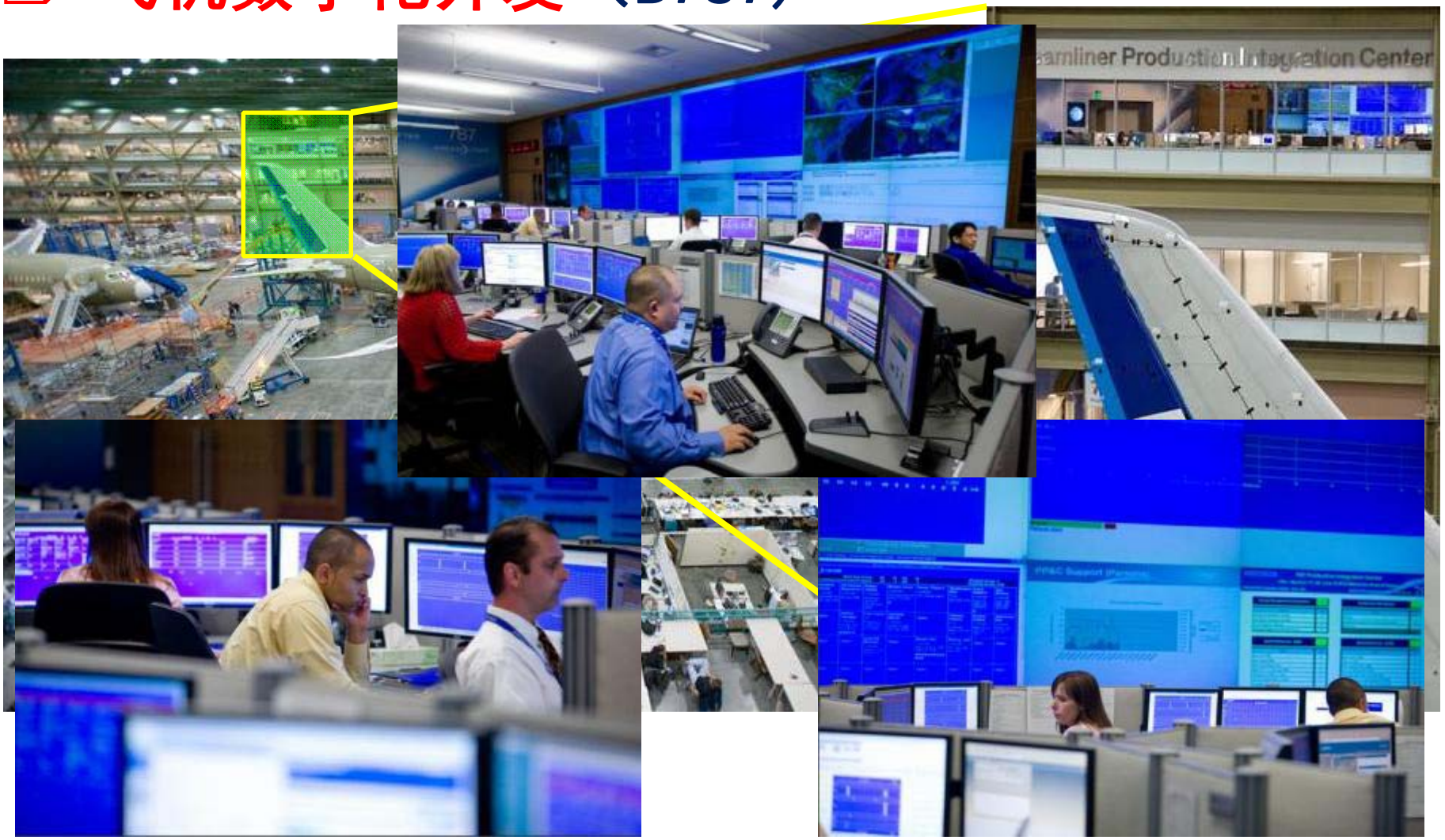


美国B777的应用效果

- 开发周期：9年→4.5年
- 成本降低：25%
- 100%整机数字化设计
- 世界垄断与霸主地位

1. 数字化手段有效地提升了产品开发质量

- 飞机数字化开发（B787）

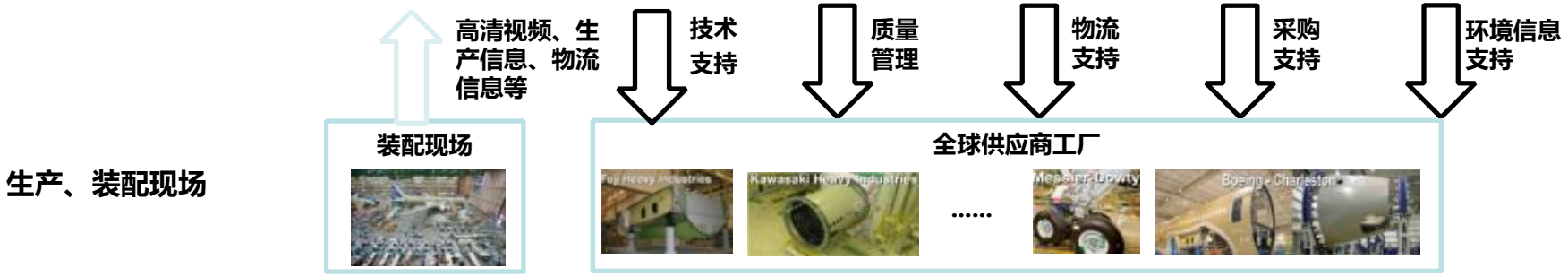


Production Integration Center

1. 数字化手段有效地提升了产品开发质量

❒ 飞机数字化开发（B787）





1. 数字化手段有效地提升了产品开发质量

❒ 数控纺织机械



手动式





半自动



全数控

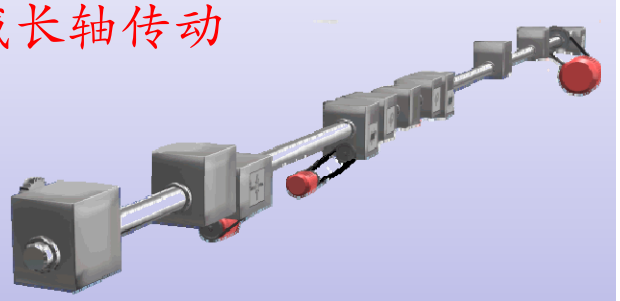


数控织机，由原来3-4小时/毛衣，变为40分钟/毛衣，1个工人操作5-10台机器

1. 数字化手段有效地提升了产品开发质量

❒ 数控印刷机械

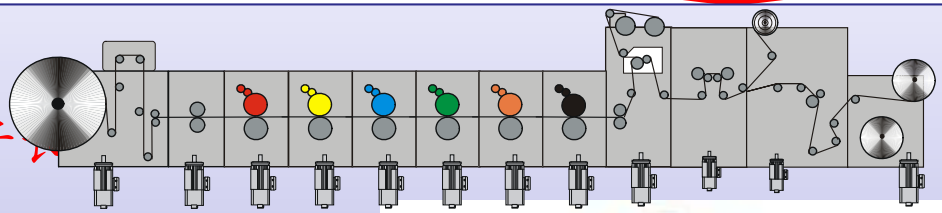
机械长轴传动





最高速度：160米/分

电子[illegible]





- 以电子虚拟轴作为主导轴，机器各单元分散驱动；
- 传动由智能化驱动器高精度控制的电子长轴；
- 最高印刷速度：350米/分

1. 数字化手段有效地提升了产品开发质量

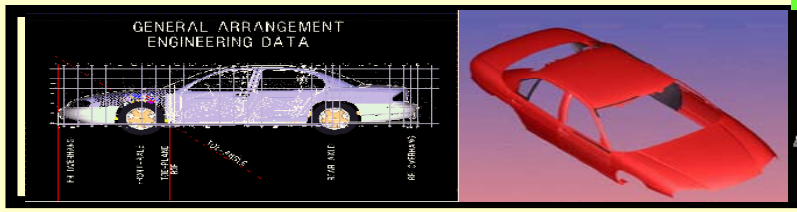
❒ 汽车数字化开发



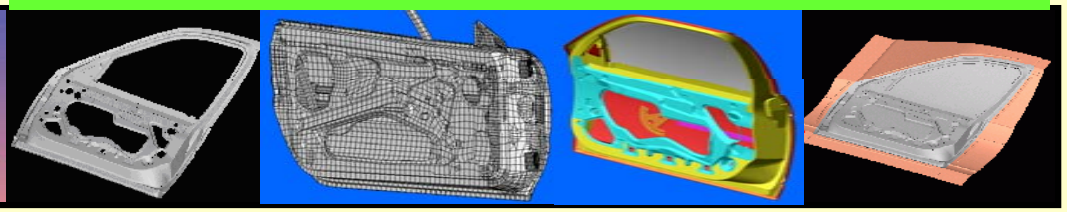
通用公司应用状况

- 开发周期（48月→24月→12月）
- 碰撞试验（100次→50次）
- 个性化定单→3小时
- 通过在线采购降低成本10%

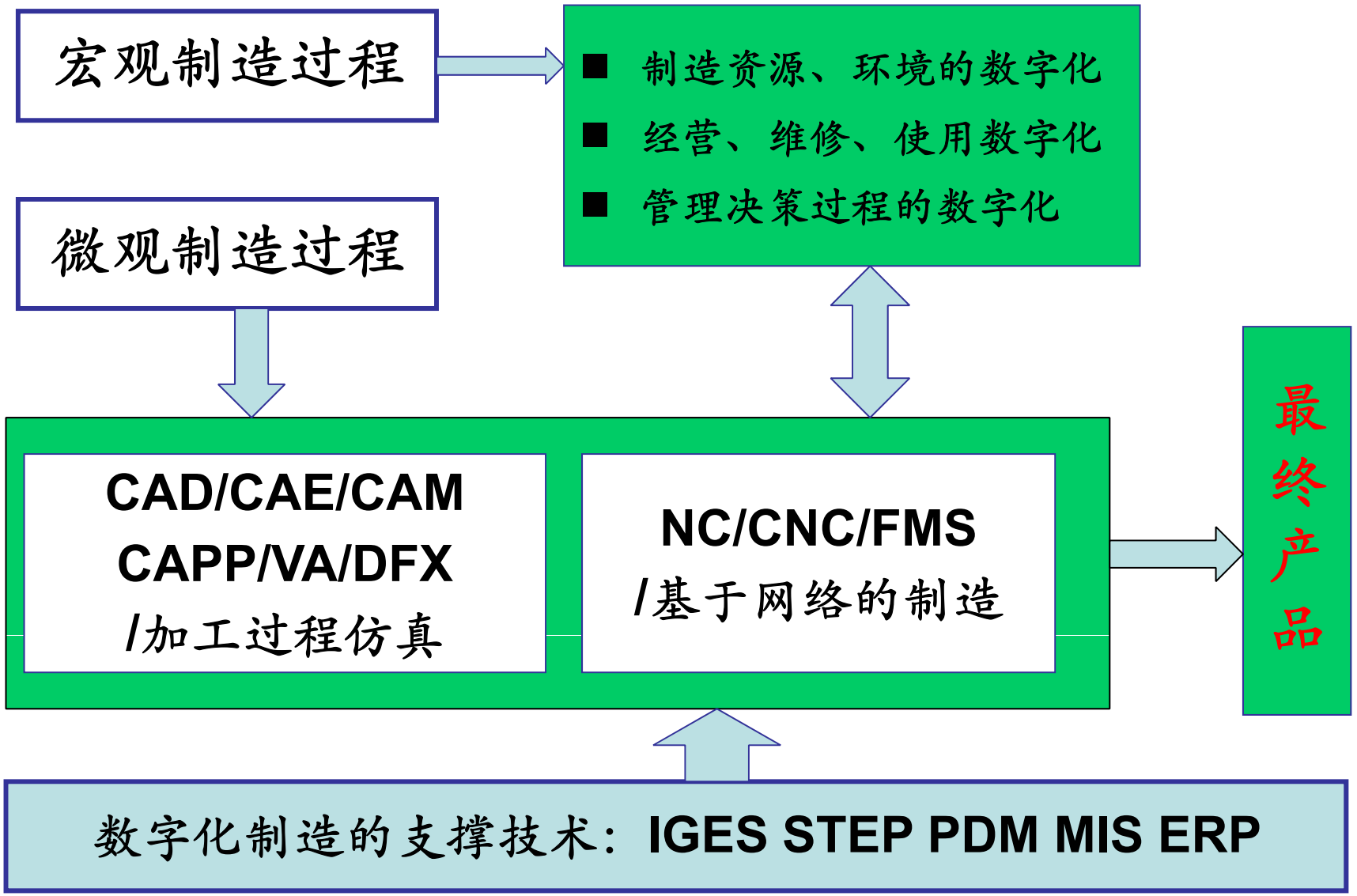
产品概念设计



产品详细设计

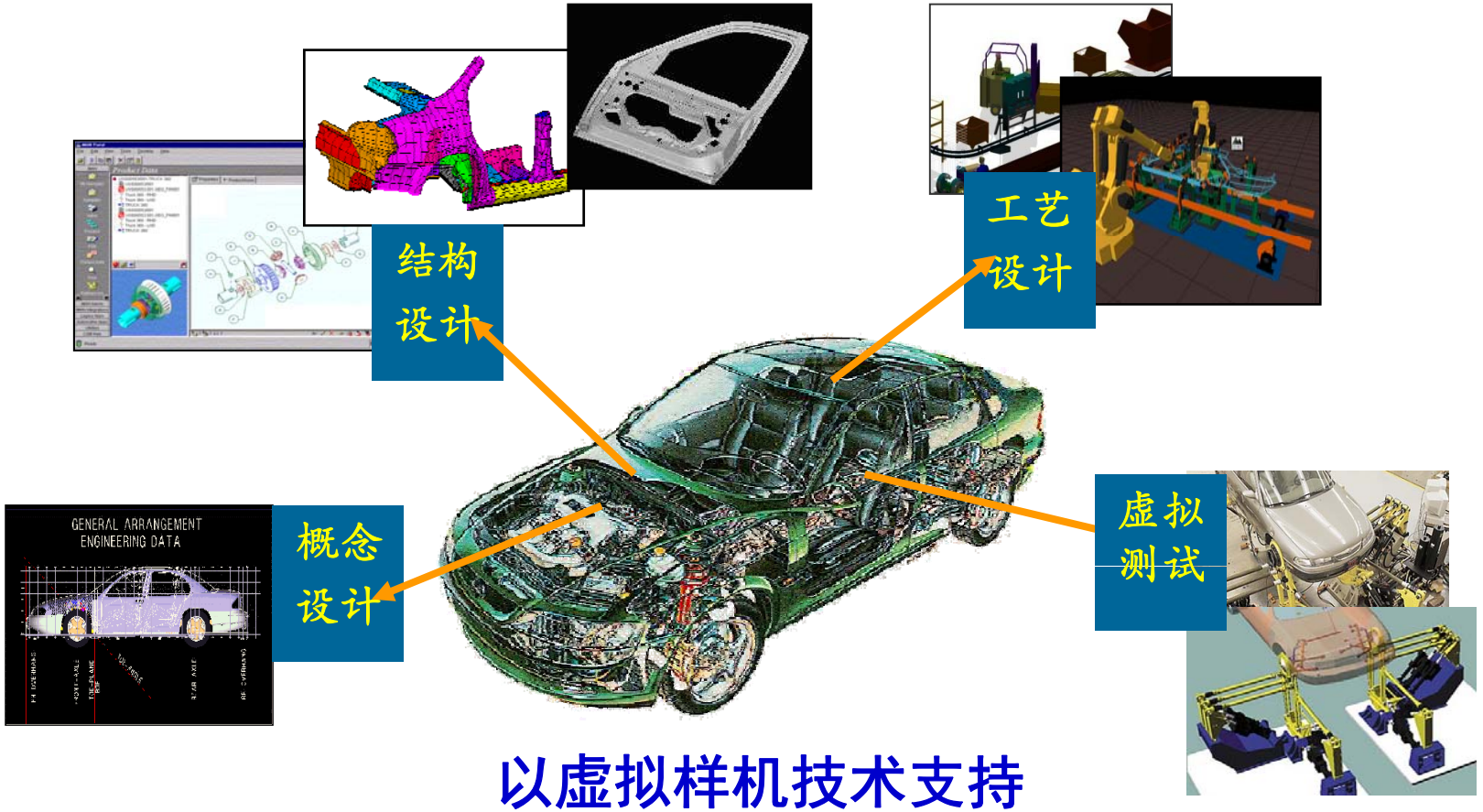


2. 产品数字化制造的技术体系



2. 汽车数字化制造的技术体系

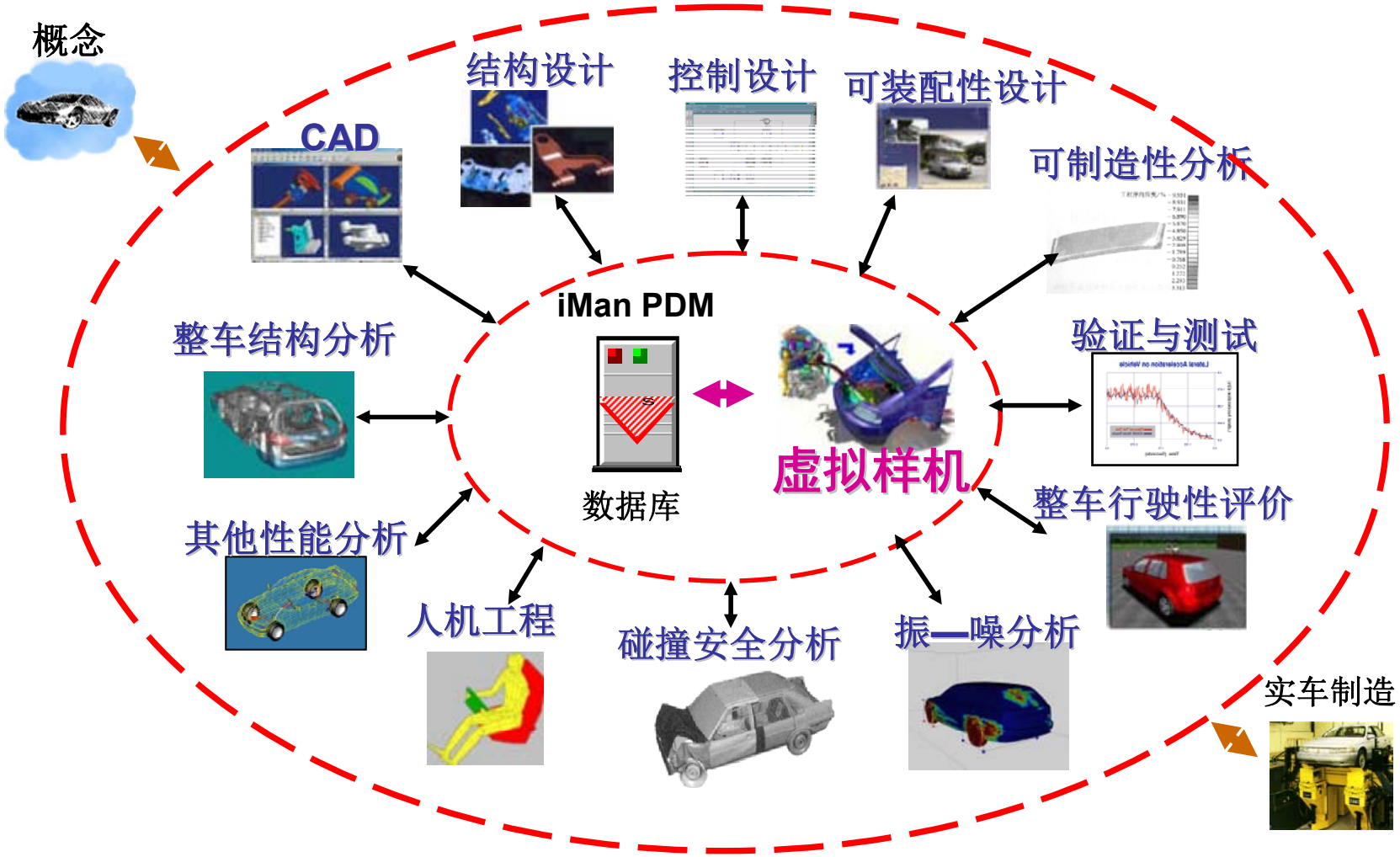
❐ 汽车数字化开发--FORD C3P（CAD/CAE/CAM/PDM）



以虚拟样机技术支持
自主车型整车开发全过程

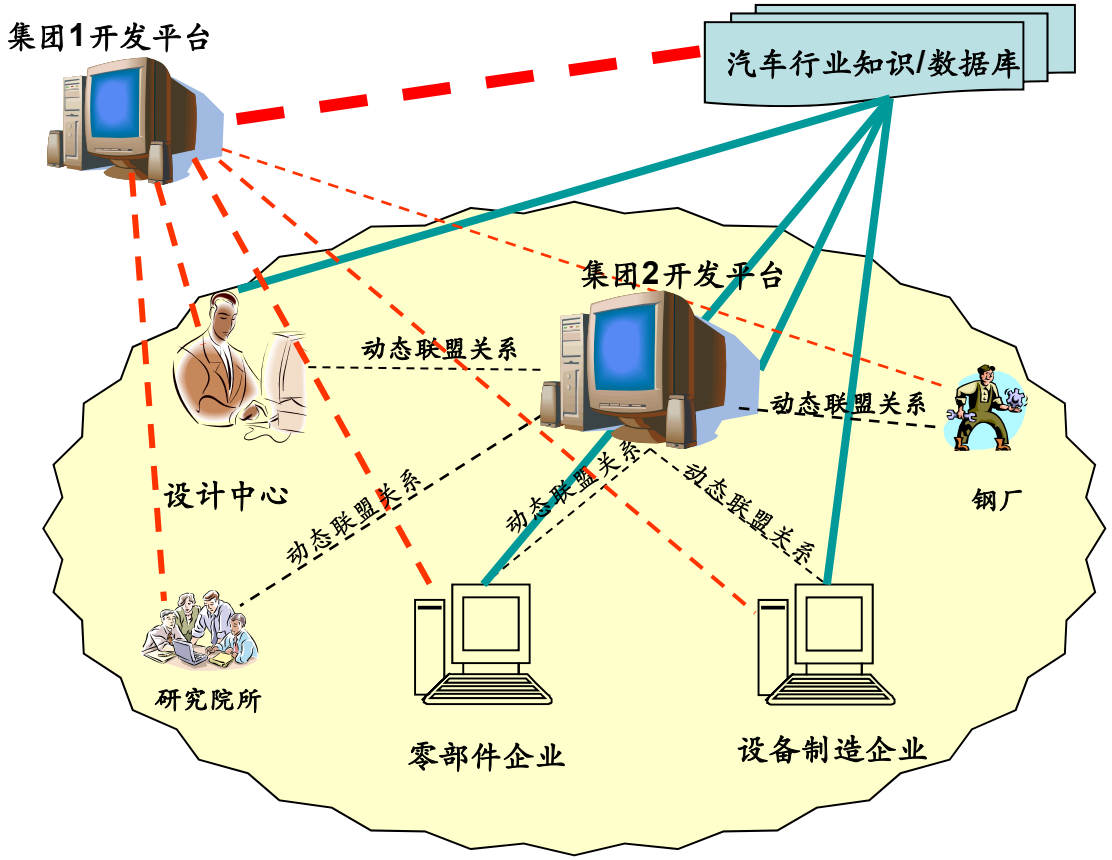
2. 汽车数字化制造的技术体系

❐ 汽车数字化开发– 虚拟样机

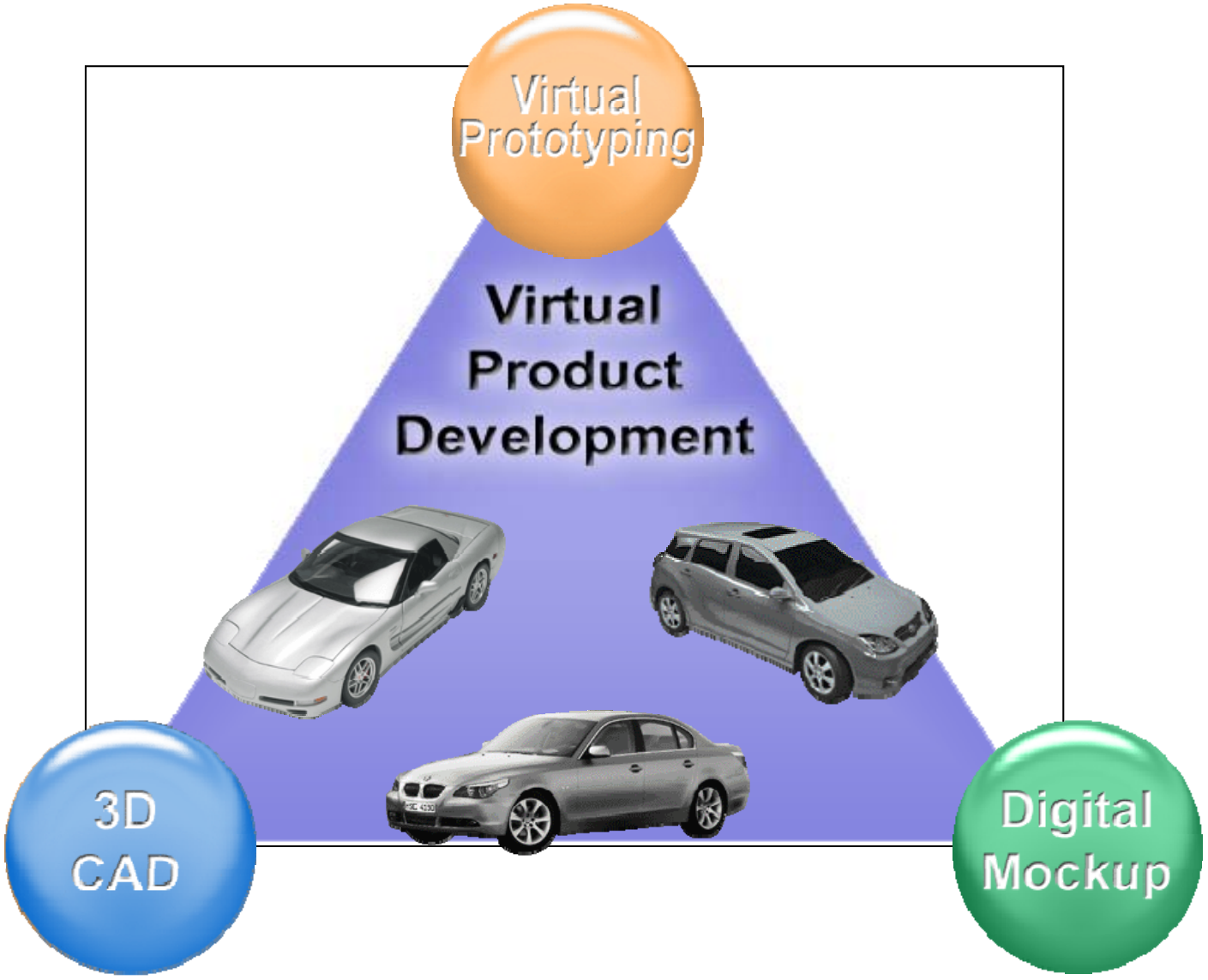


2. 汽车数字化制造的技术体系

❒ 汽车数字化开发– 协同开发

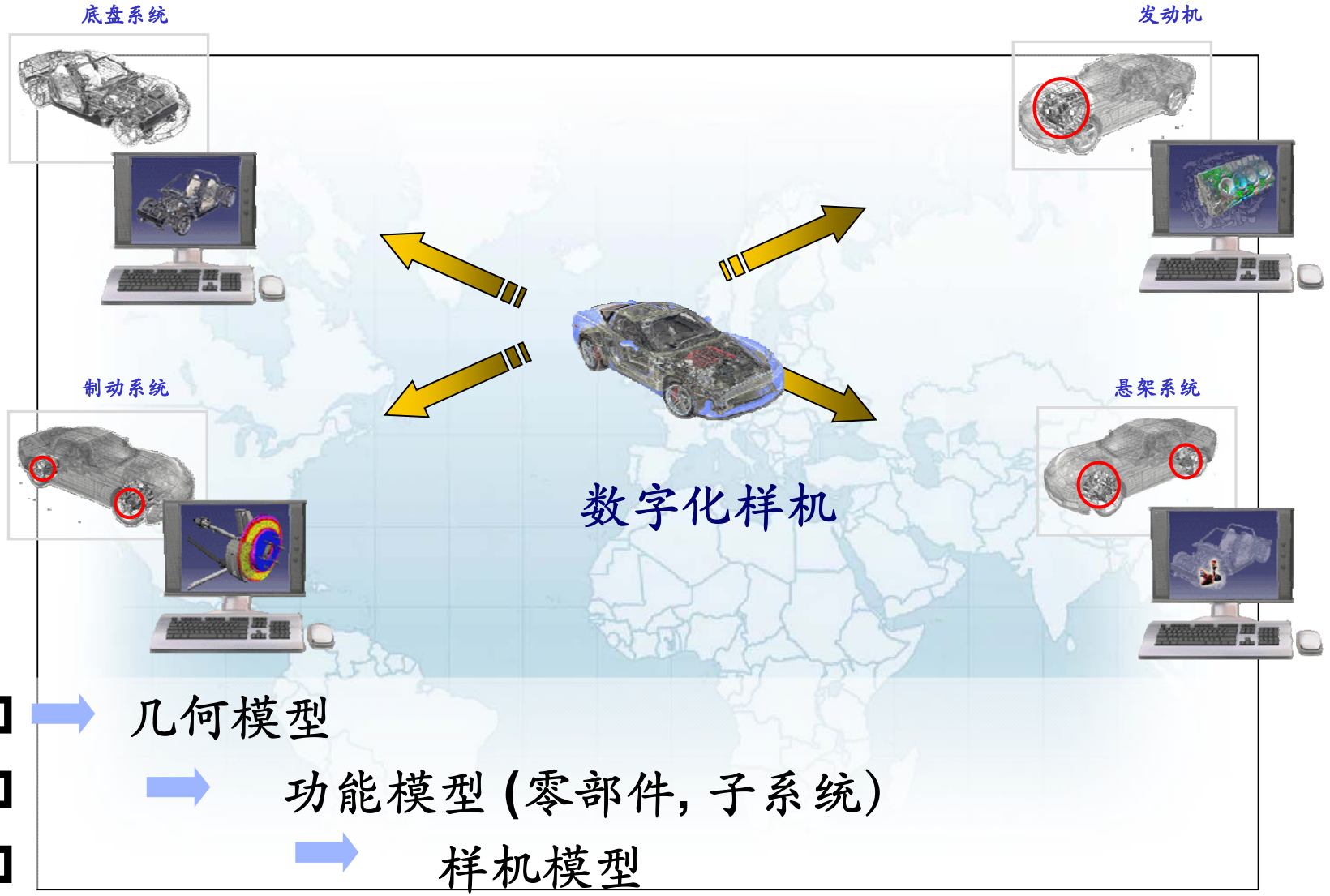


3. 关键技术--汽车数字化样机技术



3. 关键技术--汽车数字化样机技术

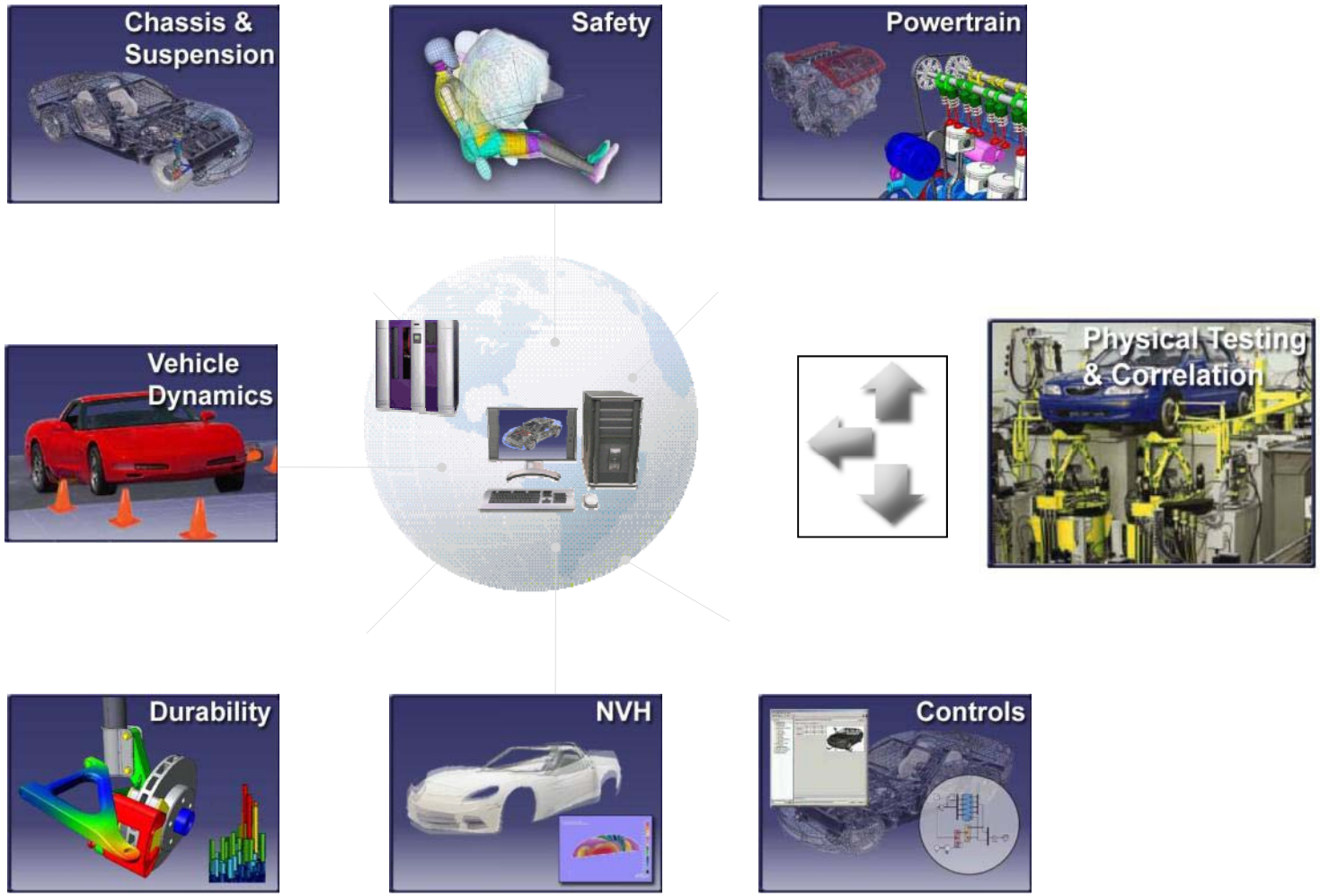
❒ 数字化样机系统



- ➡ 几何模型
- ➡ 功能模型 (零部件, 子系统)
- ➡ 样机模型

3. 关键技术--汽车数字化样机技术

❒ 数字化样机试验



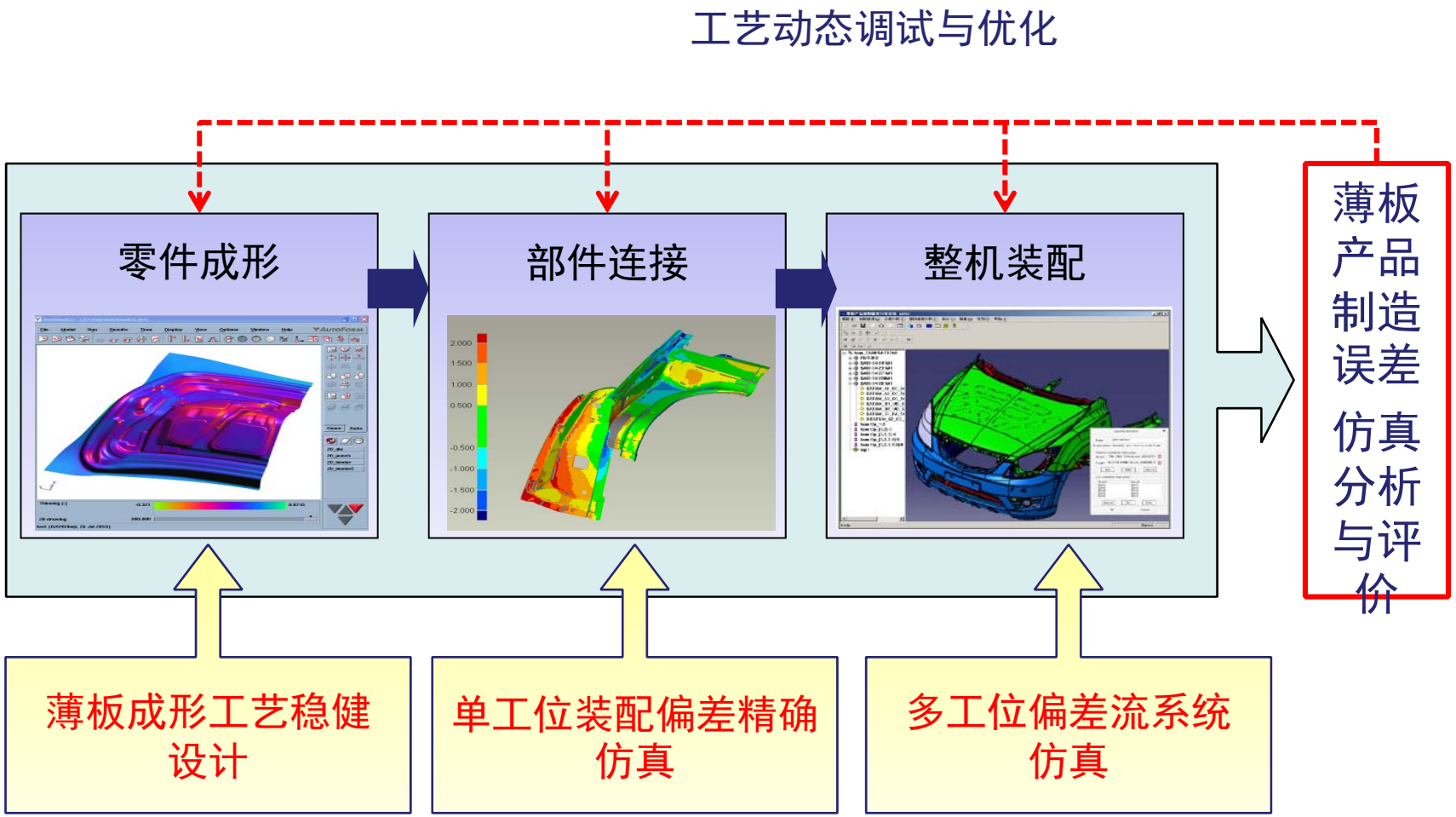
3. 关键技术--汽车数字化样机技术

❒ 数字化样机评审



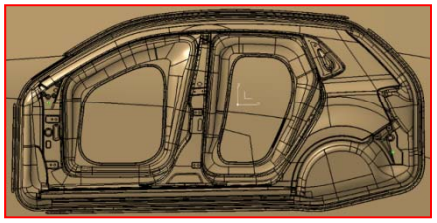
系统级设计评审与决策

3. 关键技术--车身制造数字化工艺

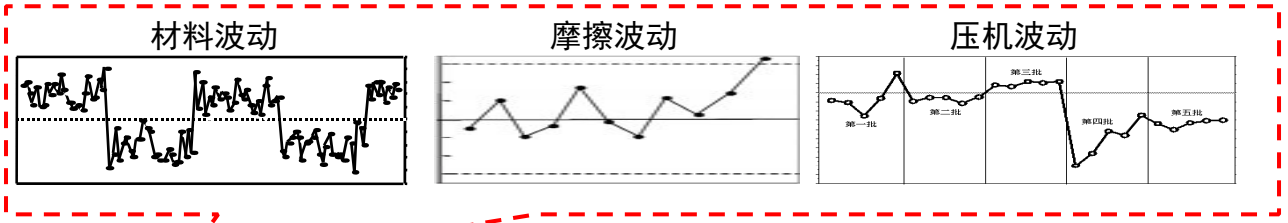


3. 关键技术——车身制造数字化工艺

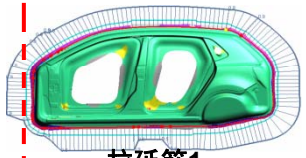
1）冲压成形工艺稳健设计–研究背景



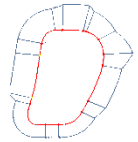
产品设计



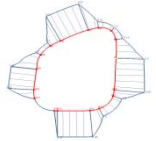
成形工艺参数



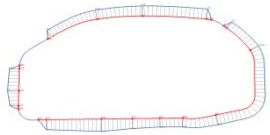
拉延筋1



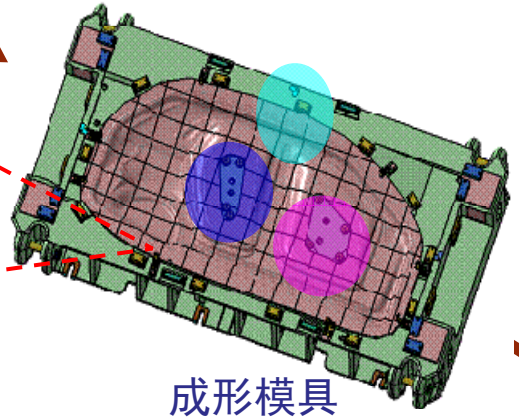
拉延筋2



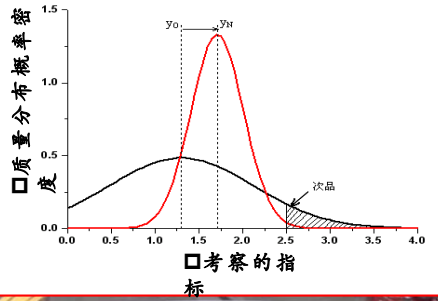
拉延筋3

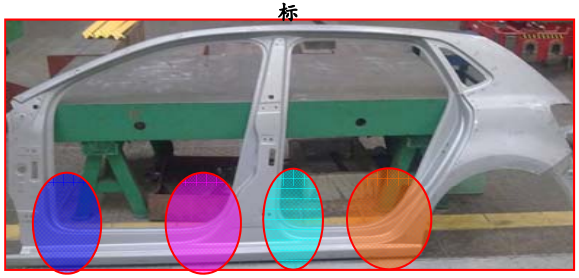


拉延筋4



成形模具



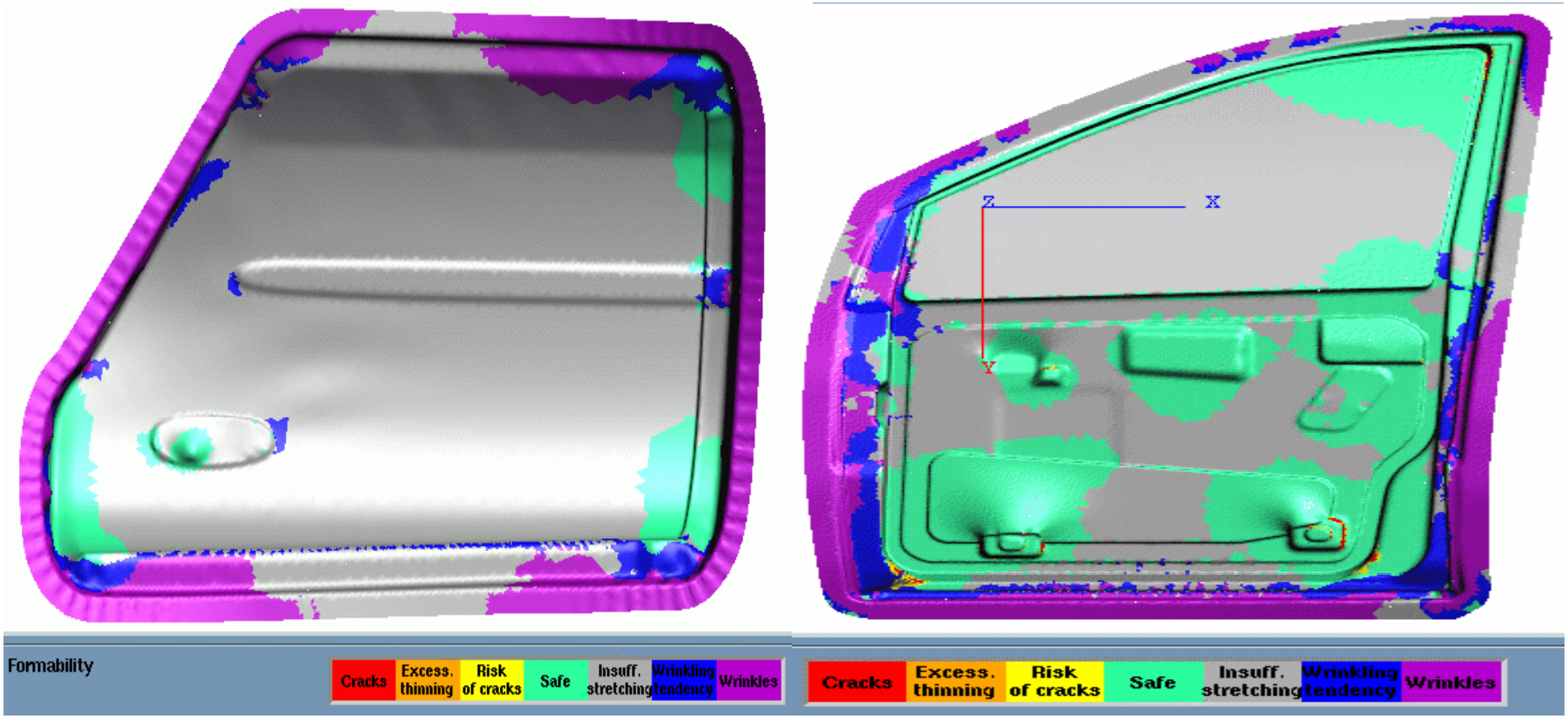


实际成形零件

如何通过成形工艺参数设计，降低质量波动对随机工艺参数的敏感度？

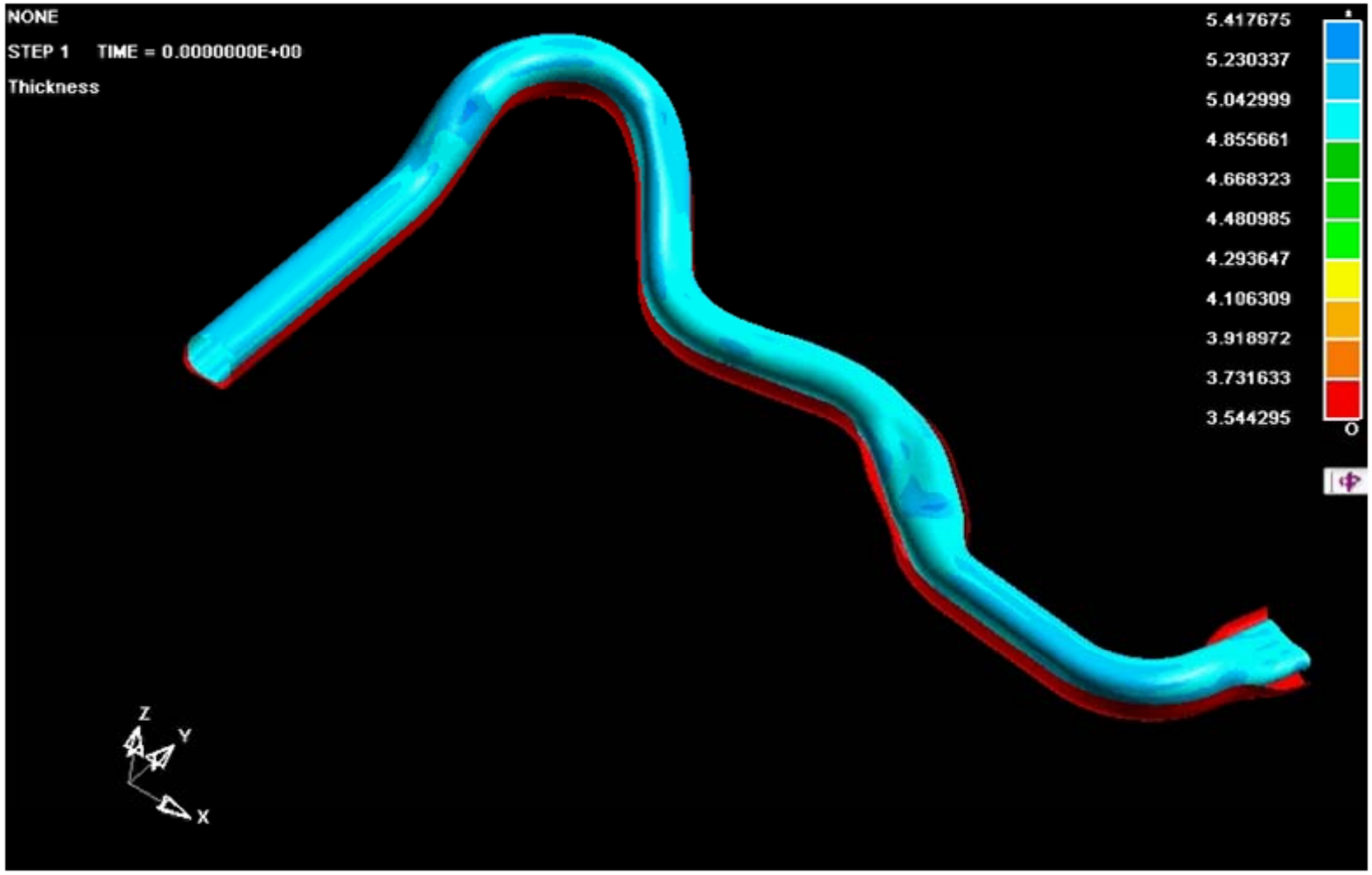
3. 关键技术--车身制造数字化工艺

1）冲压成形工艺稳健设计-成形仿真



3. 关键技术--车身制造数字化工艺

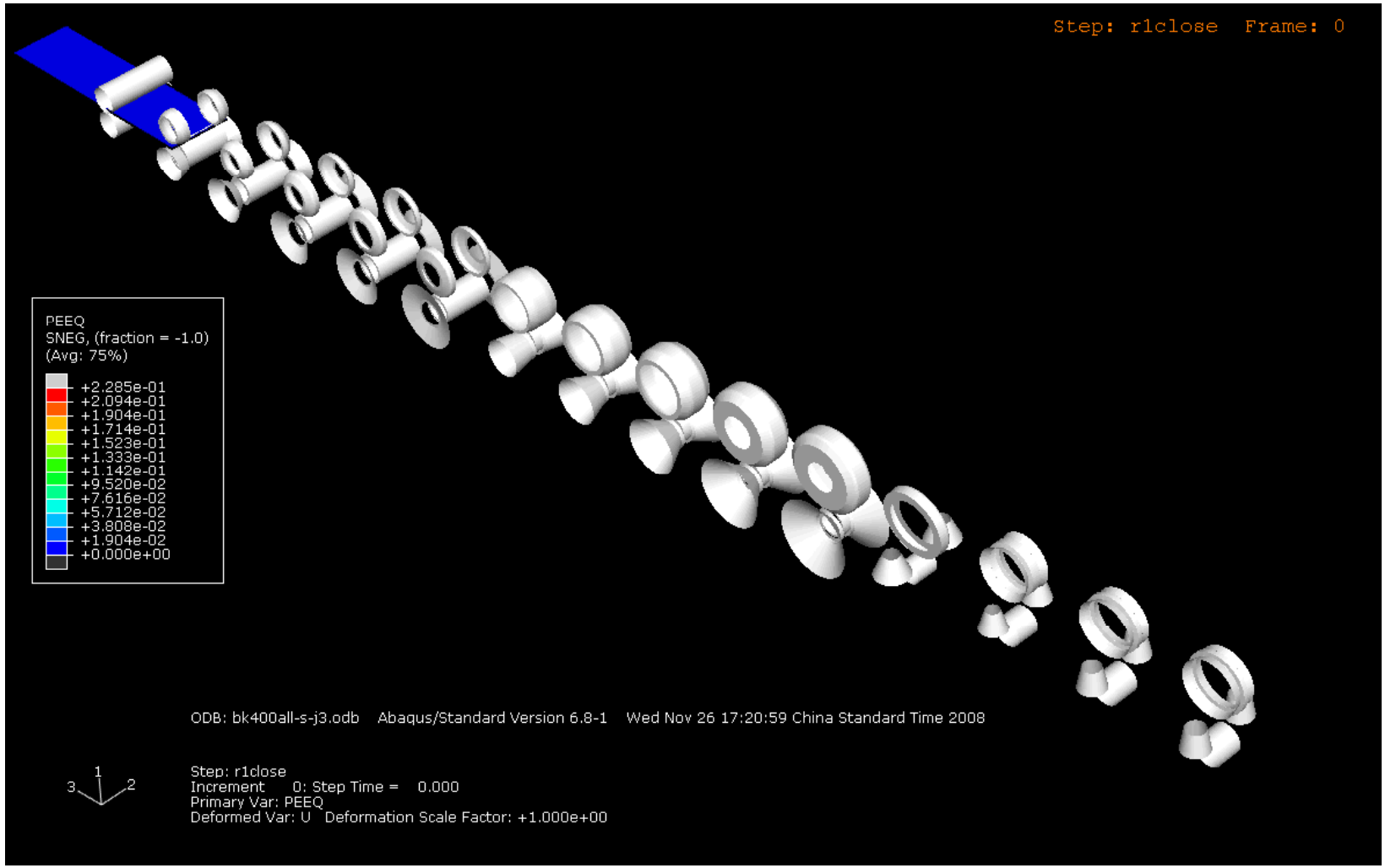
1）冲压成形工艺稳健设计-成形仿真



某车副车架液压成形过程仿真

3. 关键技术--车身制造数字化工艺

1）冲压成形工艺稳健设计-成形仿真



开口方管滚弯成形过程仿真

3. 关键技术--车身制造数字化工艺

1）冲压成形工艺稳健设计-成形仿真



宝钢集团

6大类
46种因素

汽车企业



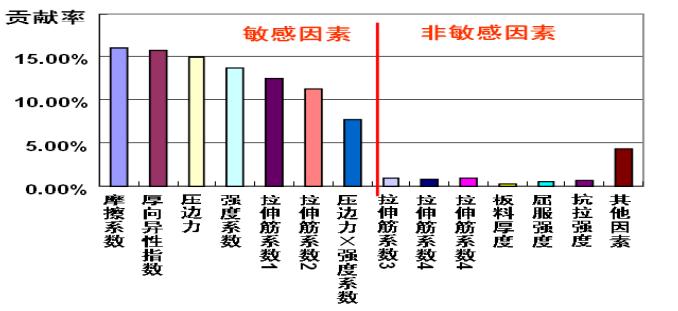
材料参数波动

屈服强度、硬化指数、厚向异性、延伸率

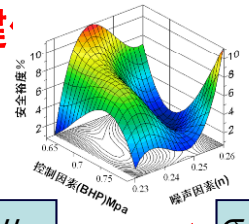
压边力、拉伸筋、润滑、冲压方向

工艺参数波动

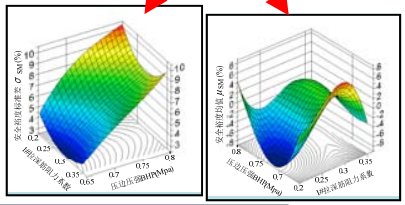
参数敏度分析



双层响应面稳健



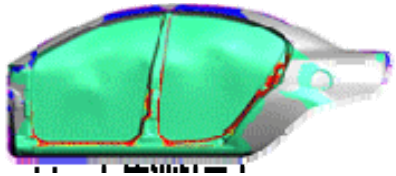
μ_{SM} σ_{SM}



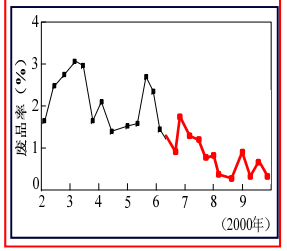
起皱和开裂等质量指标与工艺敏感参数的映射关系

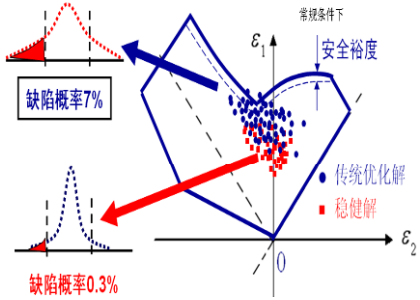
质量指标均值和方差与工艺控制参数的映射关系

$Min(\mu_{wrinkle}, \sigma_{wrnikle})$ s.t. $\mu_{SM} - 3.72\sigma_{SM} \geq 8\%$



质量波动



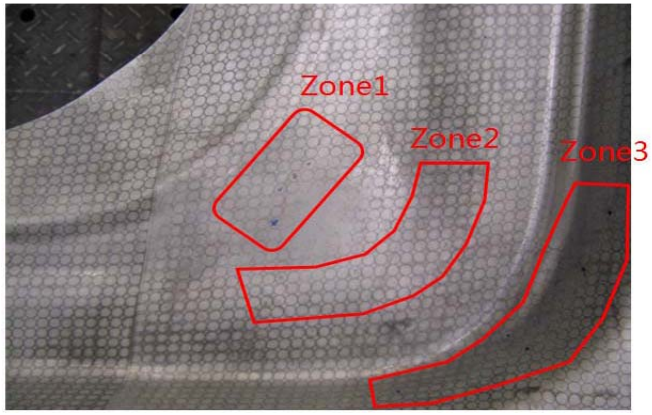


- 参数敏度分析
- 冲压稳定性评估
- 工艺稳健优化设计

实现低成本条件下成形质量的稳定控制

3. 关键技术--车身制造数字化工艺

1）冲压成形工艺稳健设计-案例



+

□材料和工艺波动

s：

160　20MPa

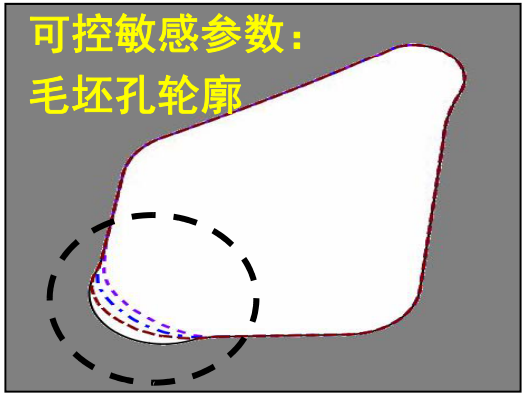
r：2.3　0.5

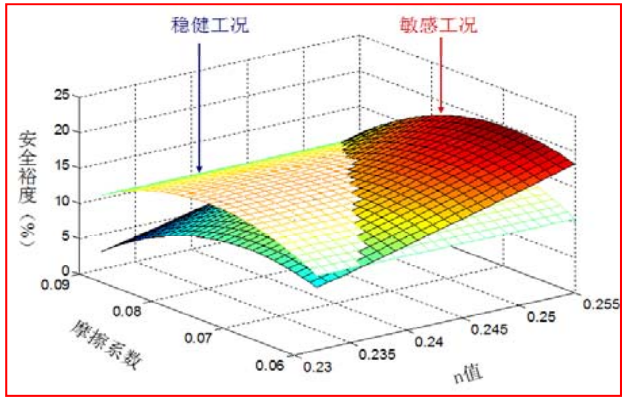
f：0.10　0.05

BHF:3.5　0.5吨



三个区域成形相互制约，且材料与工艺参数波动，造成开裂起皱缺陷。



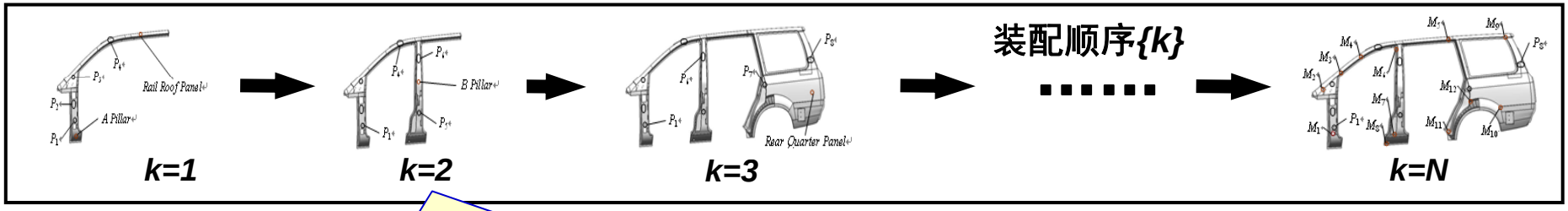




通过毛坯轮廓等参数稳健设计，降低三个敏感区域对四参数波动的敏感性，使批量生产条件下侧围外板废品率控制在0.5%以内。

2）车身装配偏差分析–仿真模型

- 建立**薄板多工位装配偏差流的状态空间方程**，实现给定工艺下层次化装配偏差流的定量分析



$$V_m^{(2)} = A^{(2)}V_m^{(1)} + B^{(2)}V_f^{(2)} + w^{(2)}$$

上级装配偏差

偏差传递矩阵$A^{(2)}$

$$A^{(2)} = \varepsilon^{(2)}\Phi^{(2)}$$

接头配置　　偏差传递率

+

偏差控制矩阵$B^{(2)}$

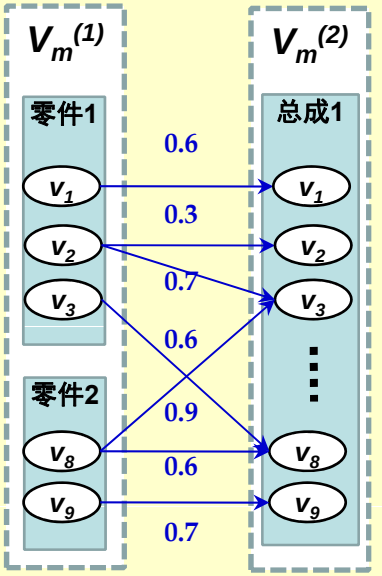
$$B^{(2)} = \left[S_f^{(2)}\right]$$

夹具影响

本级装配偏差

$$A^{(2)}V_m^{(1)} = \varepsilon^{(2)}\Phi^{(2)}V_m^{(1)} =$$

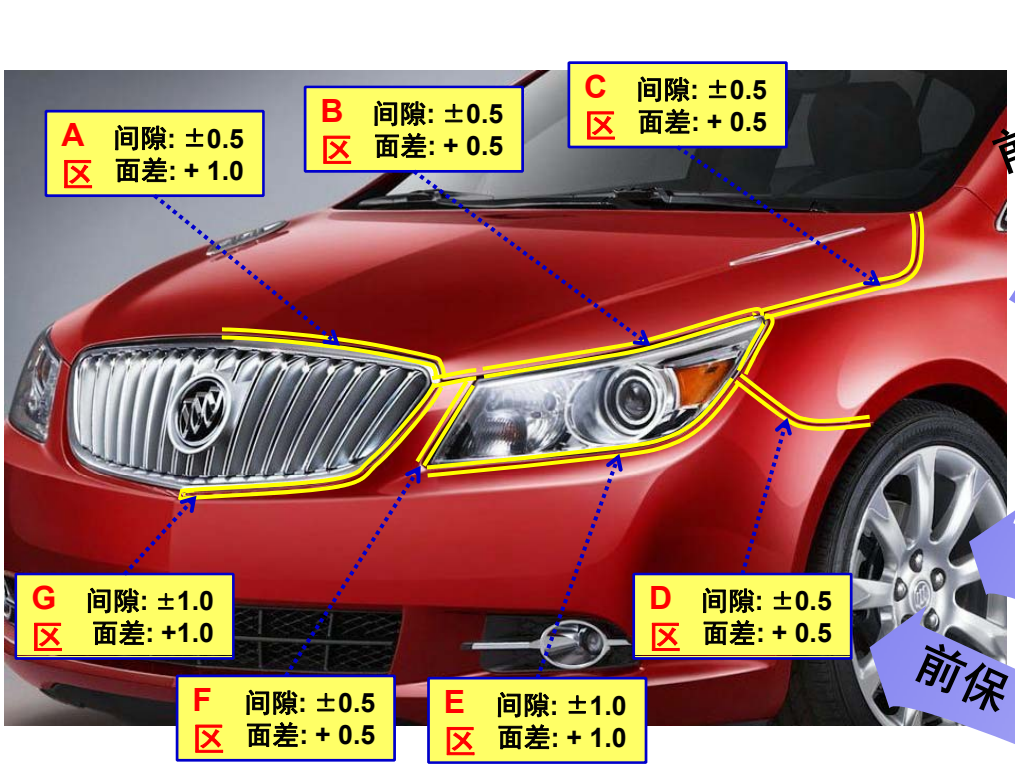
$$\begin{bmatrix} 0.5 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & \cdots \\ 0 & 0.3 & 0 & \cdots & 0 & 0 & \cdots \\ 0 & 1.0 & 0 & \cdots & 1.2 & 0 & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \ddots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & 0.6 & \cdots & 0.6 & 0 & \cdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0.8 & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ \vdots \\ v_8 \\ v_9 \\ \vdots \end{Bmatrix}$$

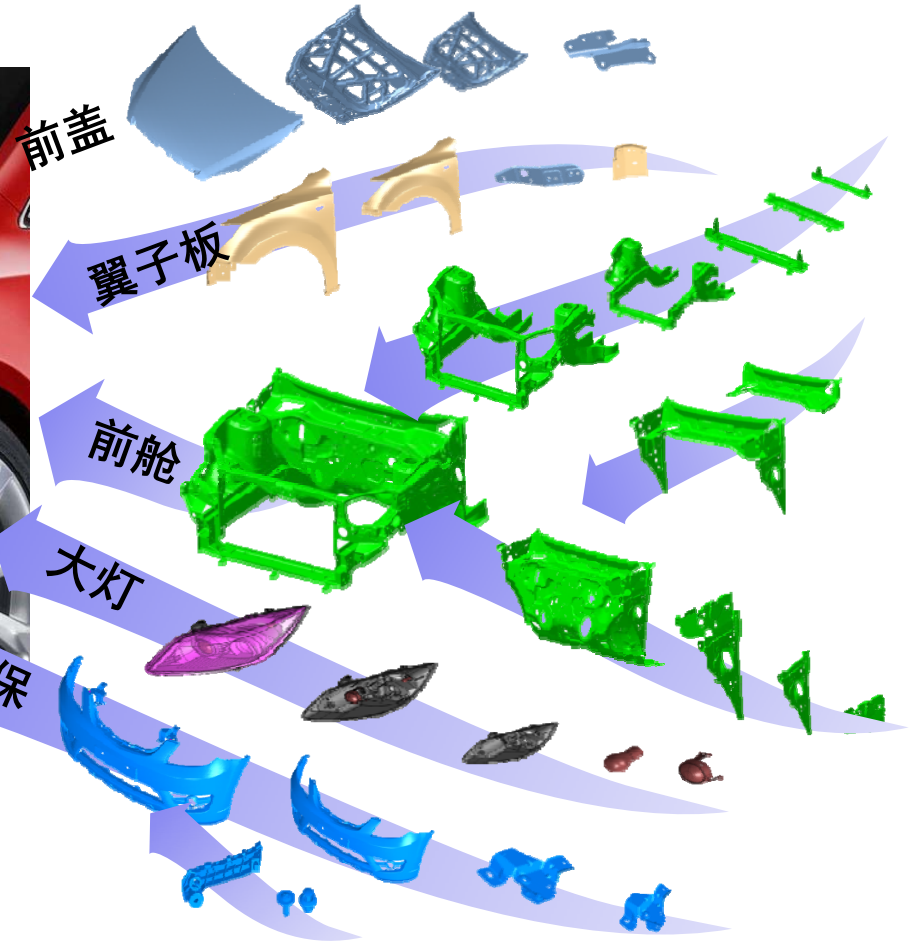


偏差传递路径与传递率

2）车身装配偏差分析-应用案例

某车型前舱匹配面临多曲面交汇、多零件变形协调、多偏差流积聚难题，代表整车装配水平。





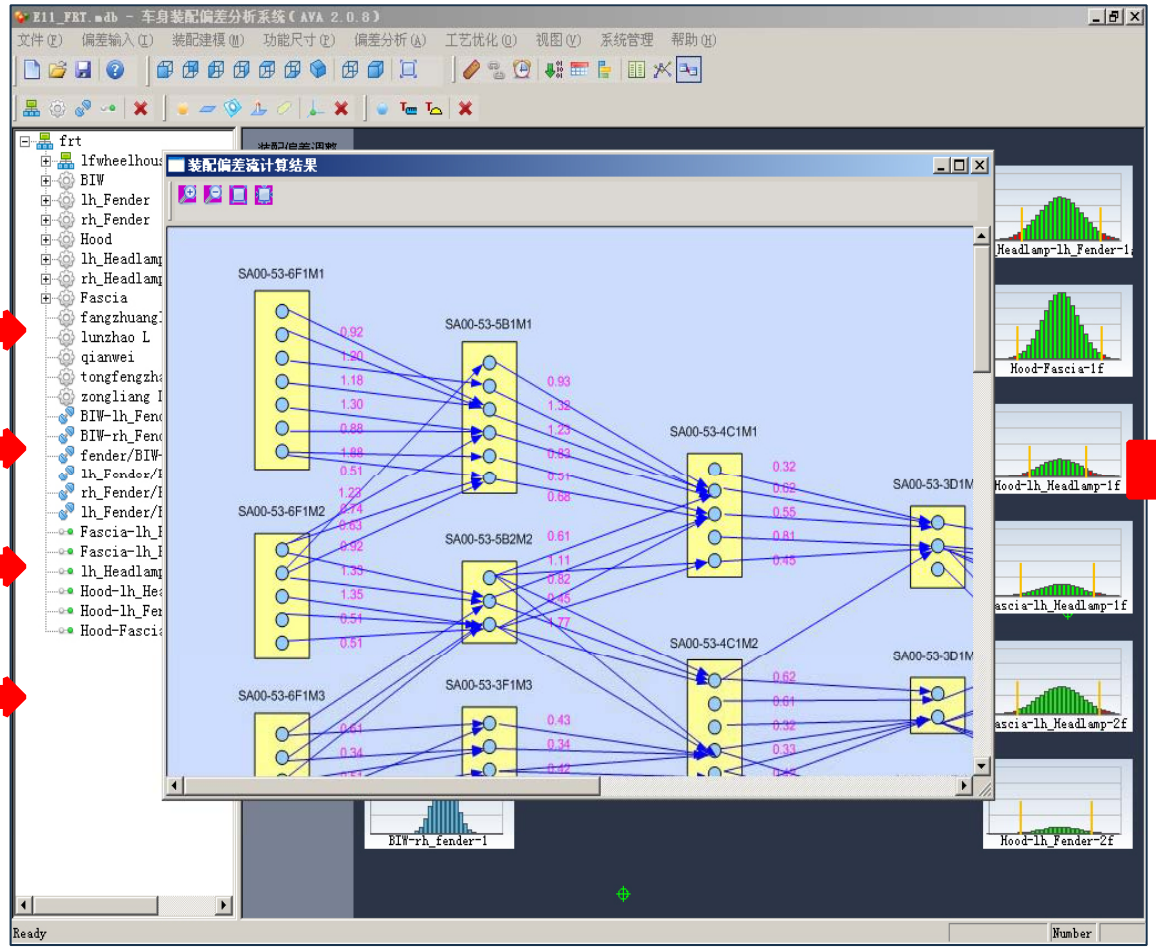
涉及5大总成84个薄板件装配，严重影响前部密封、噪声、外观等产品性能

2）车身装配偏差分析-应用案例

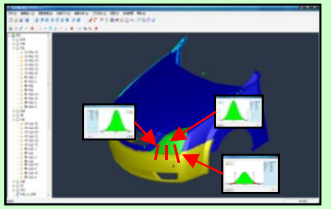
构建前脸装配偏差封样模型，预测7个关键区域的装配间隙和面差，确定偏差流传递路径，快速诊断偏差源。

输入参数

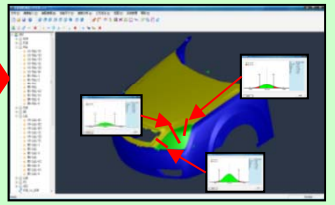
- 装配顺序
- 零件公差
- 定位方案
- 接头形式
- 材料参数



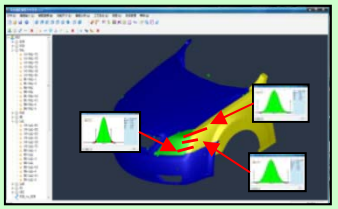
输出结果



A区（保险杠）配合公差

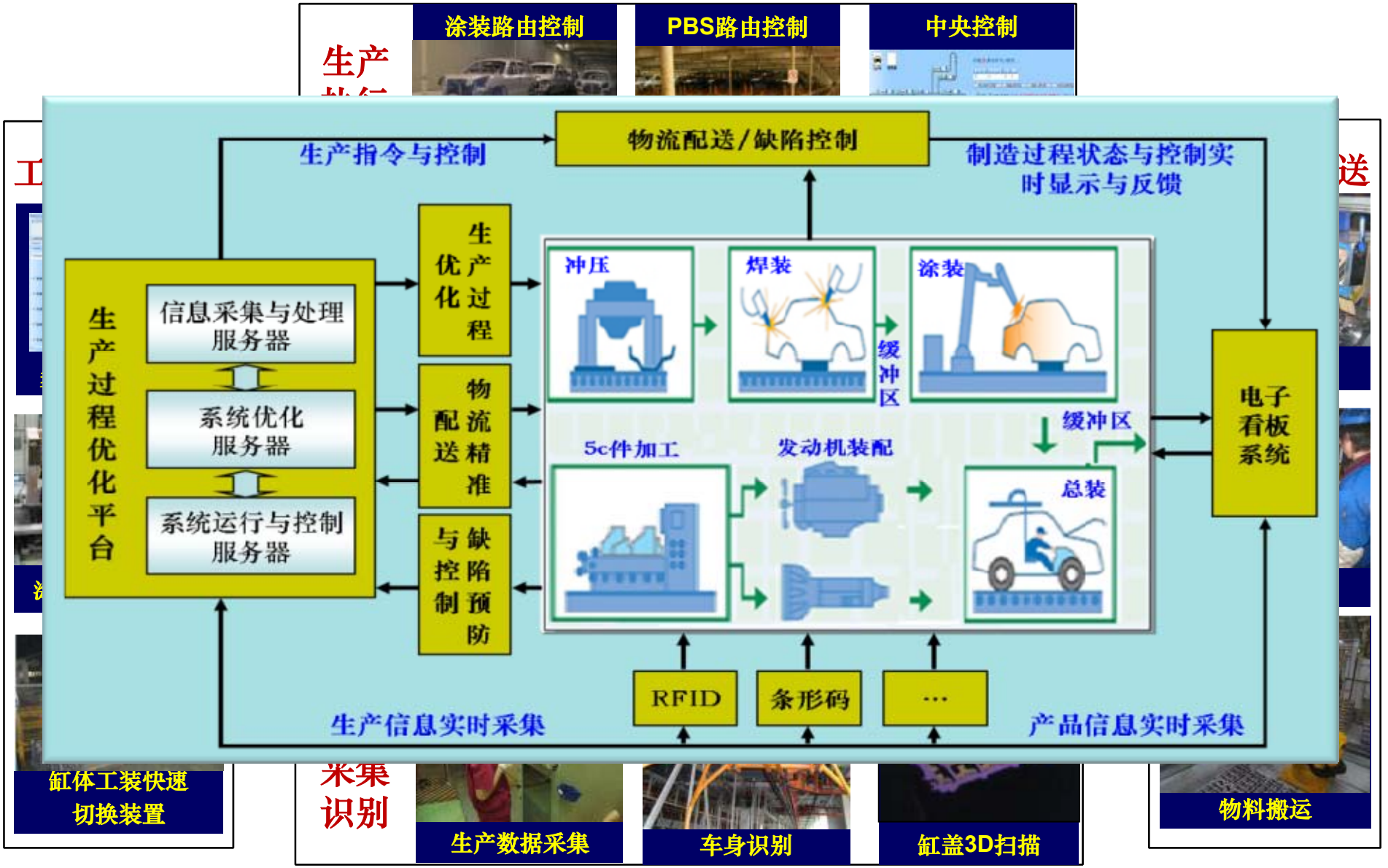


B区（前盖）配合公差



C区（翼子板）配合公差

3. 关键技术—制造信息集成技术



4. 当前汽车制造业的总体状态



报告提纲

一、为什么要发展智能制造？

二、工业4.0与智能制造

三、数字化制造及其研究进展

四、智能制造技术及应用展望

1. 智能化工厂实例

SIEMENS Amberg Factory – 智能工厂的典范

Analysys 易观智库



- 德国巴伐利亚州东部城市安贝格(Amberg)的西门子工厂经过25年的数字化发展，目前该厂的自动化运作程度已经达到75%左右，其1150名员工主要是从事计算机操作和生产流程的监控。

- 员工维持在1150名
- 产能提升了8倍
- 75%的生产作业自动化
- 1000个不同的产品
- 每天采集数据超5000万个
- 产品合格率99.9988%
- 每月生产约100万件Simatic产品
- 每年服务全球60,000个客户

易观智库

1. 智能化工厂实例

BMW：打造汽车工业4.0 - 智能工厂&智能车间

Analysys 易观智库



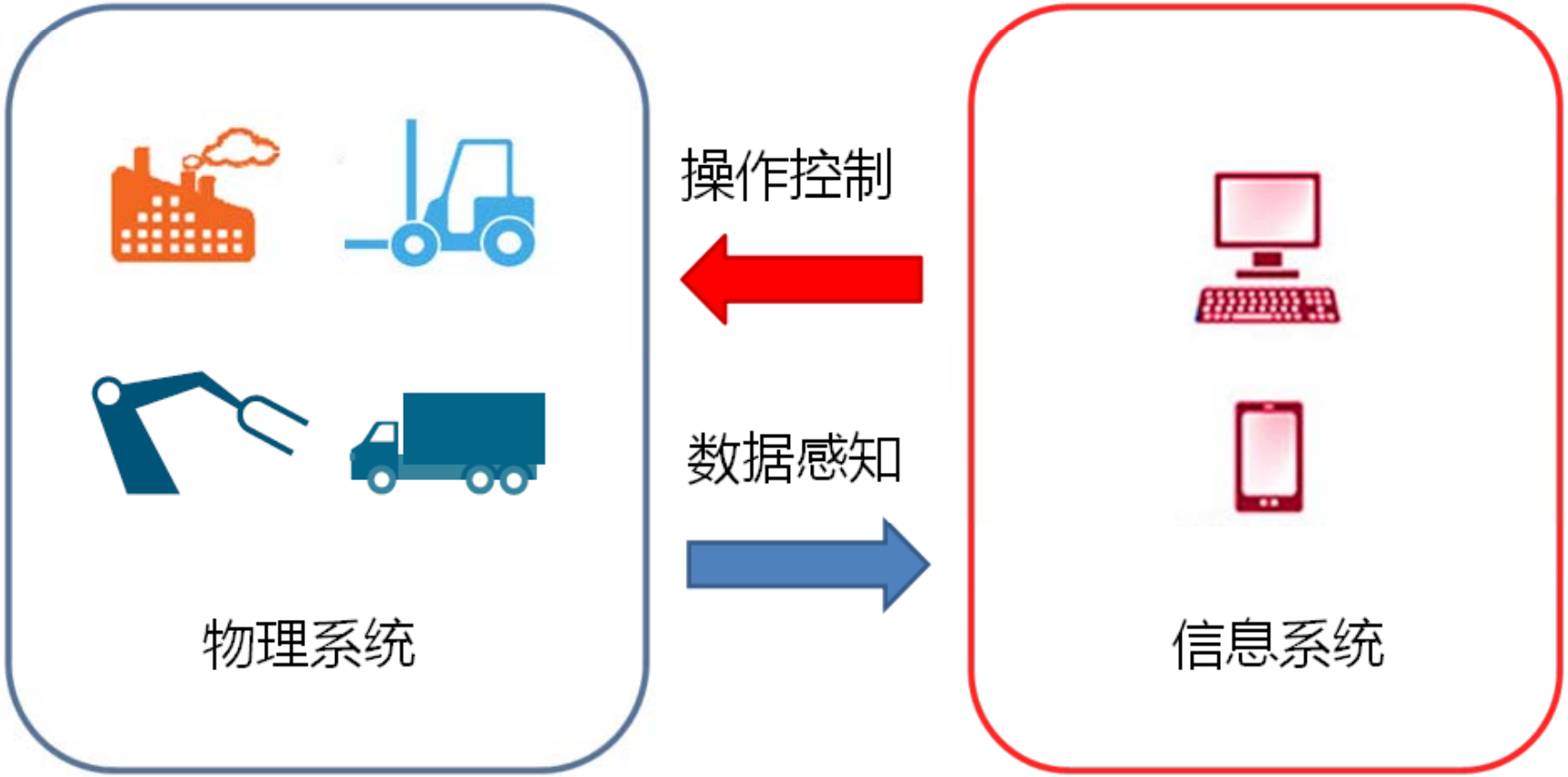






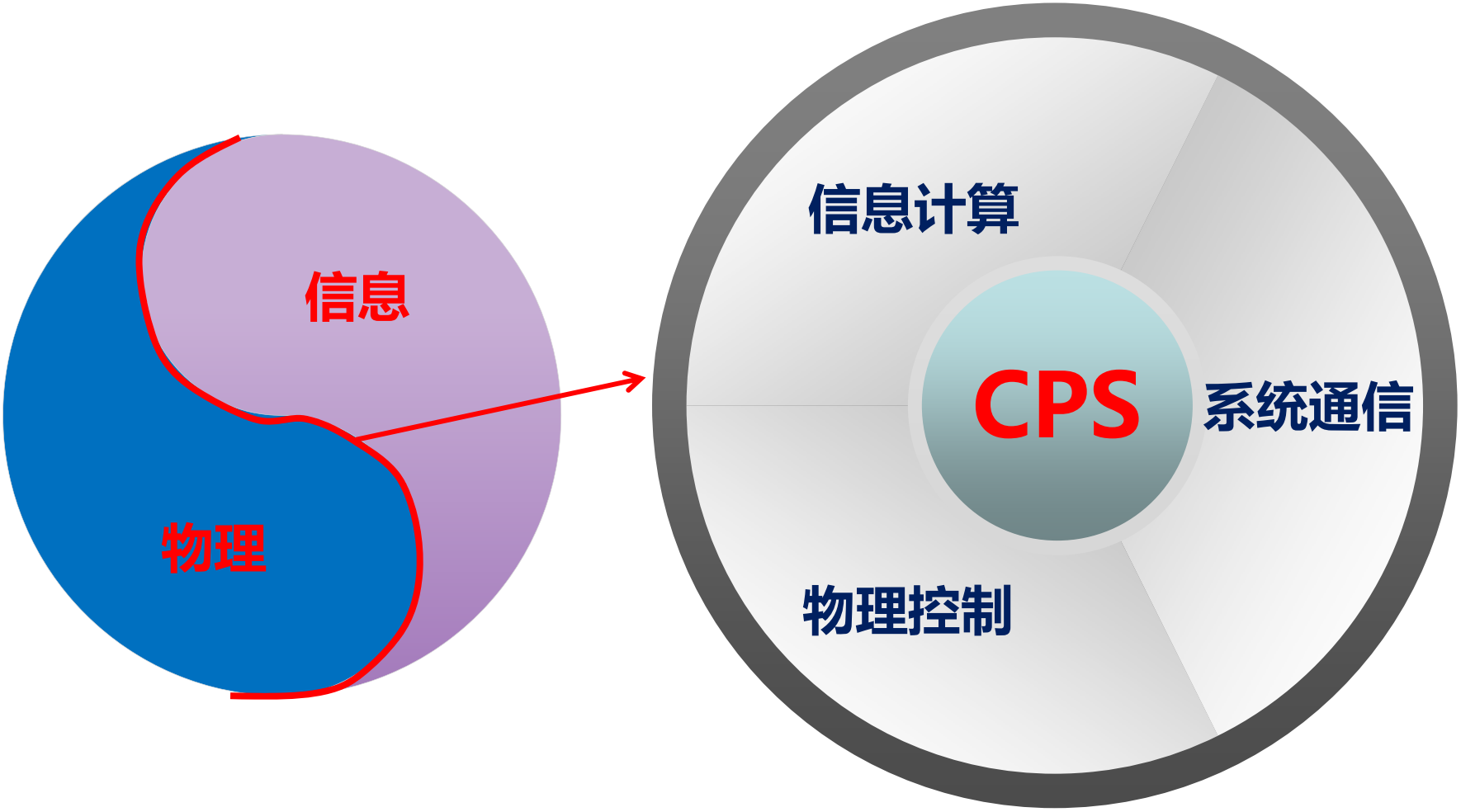
- 宝马公司在中国沈阳的铁西工厂在冲压、车身、涂装和总装四大车间内全面实施了工业智能化。
- 车身车间通过使用智能机器人和工业电脑控制技术，能效得到显著提升。
- 机器人热能回收技术更可每年节约超过780万度电。
- 汽车制造最耗能的涂装环节(约占汽车制造能耗的70%)，实现节水30%，节能40%，减排20%。
- 相比传统液压机，华晨宝马铁西工厂的高速冲压机生产效率提升超过70%，节能50%。
- 截止2014年底，宝马集团在全球使用的生产能耗中，来自于可再生[illegible]的比例首次过半，达到51%。

2. 信息物理系统是智能制造的本质



信息物理系统（CPS）

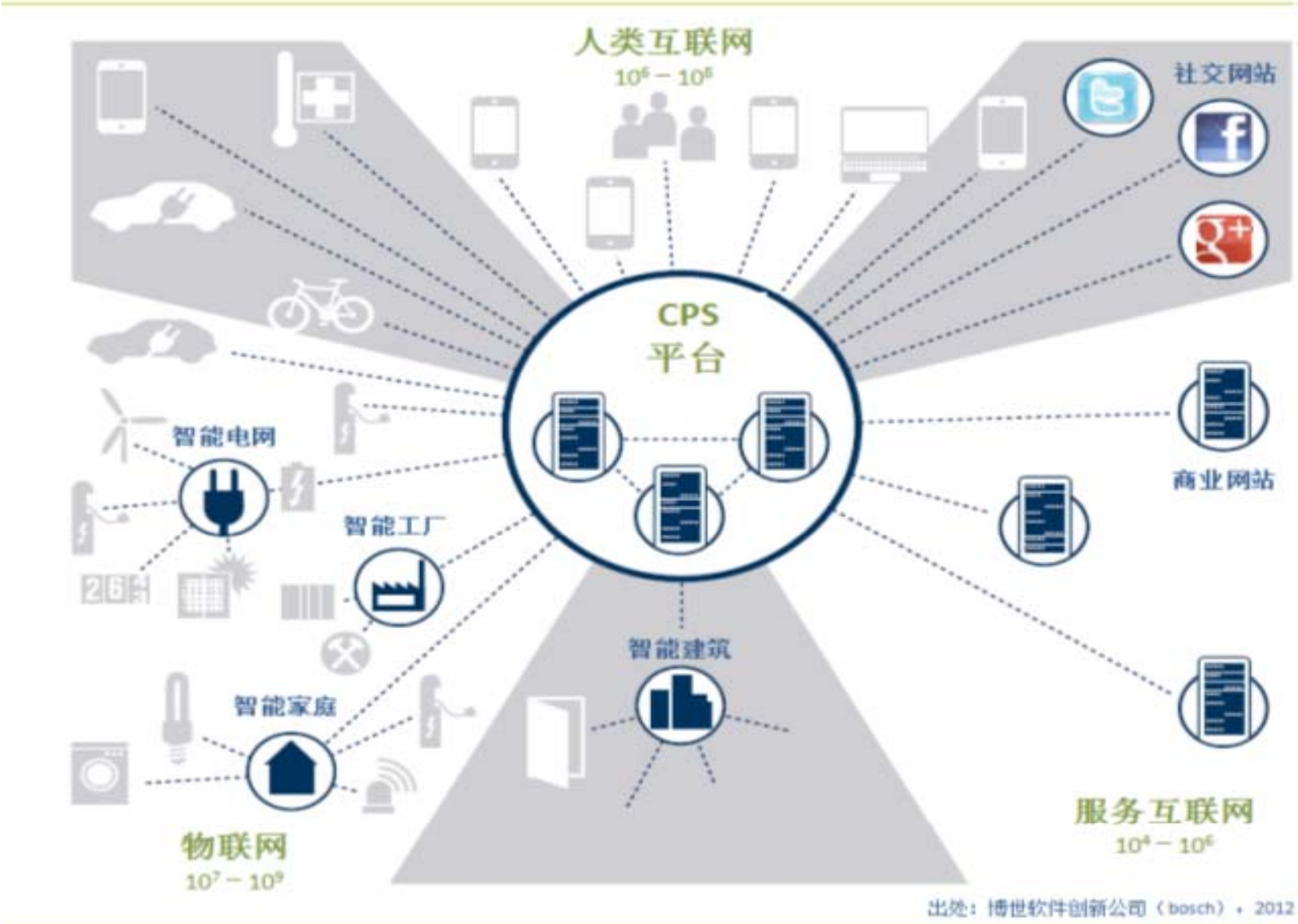
2. 信息物理系统是智能制造的本质



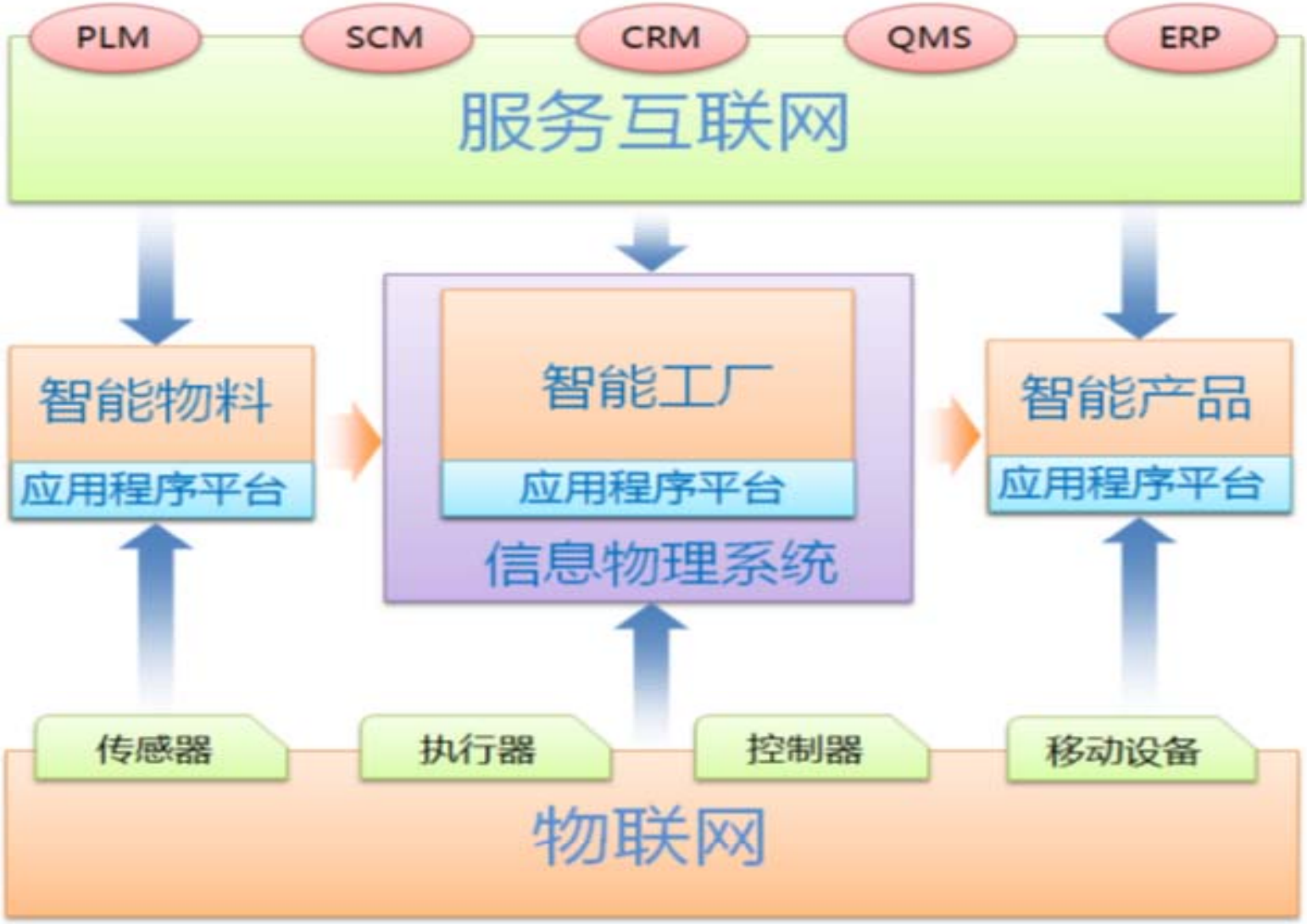
2. 信息物理系统是智能制造的本质



2. 信息物理系统是智能制造的本质



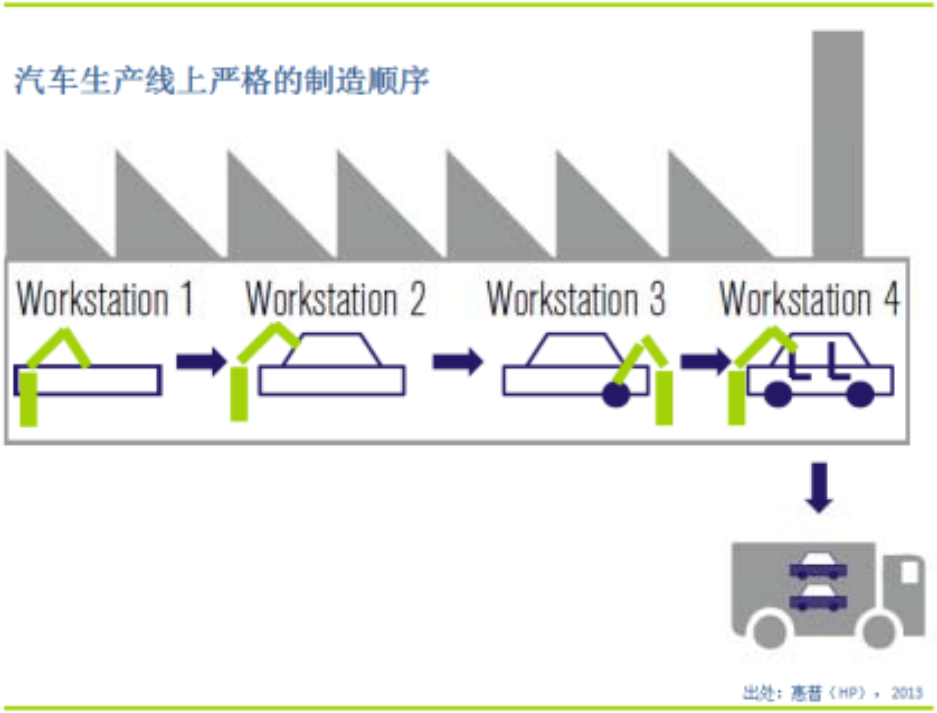
3. 智能制造的运作

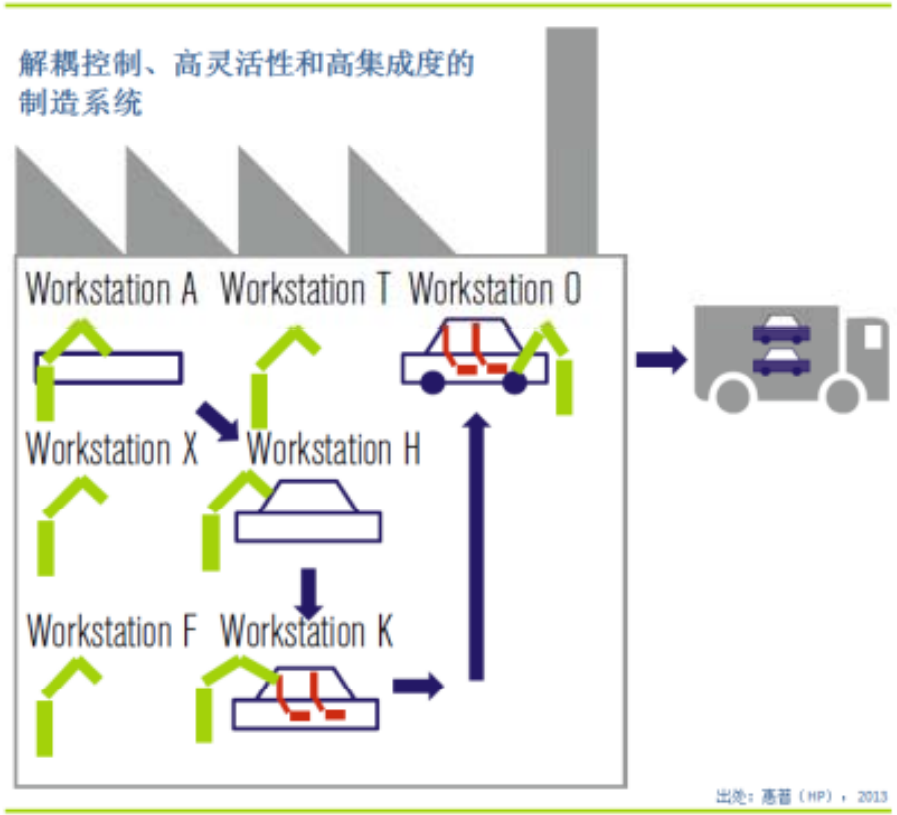

PLM
SCM
CRM
QMS
ERP
服务互联网
智能物料
应用程序平台
智能工厂
应用程序平台
信息物理系统
智能产品
应用程序平台
传感器
执行器
控制器
移动设备
物联网

3. 智能制造的运作



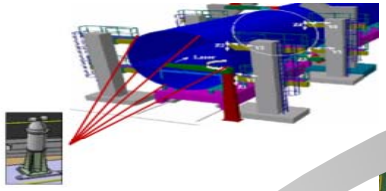
3. 智能制造的运作


汽车生产线上严格的制造顺序
Workstation 1
Workstation 2
Workstation 3
Workstation 4
出处：惠普（HP），2013


解耦控制、高灵活性和高集成度的
制造系统
Workstation A
Workstation T
Workstation O
Workstation X
Workstation H
Workstation F
Workstation K
出处：惠普（HP），2013

4. 关键支撑技术

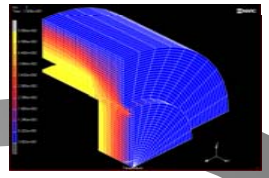
将传感器及智能决策软件与装备集成，实现感知、分析、推理、决策、控制功能，使工艺能适应制造环境变化



传感检测

✓装备运行监控

✓制造质量检测



工艺设计

✓工艺智能创成

✓工艺实时规划





控制执行

✓装备自动控制

✓装备柔性操作

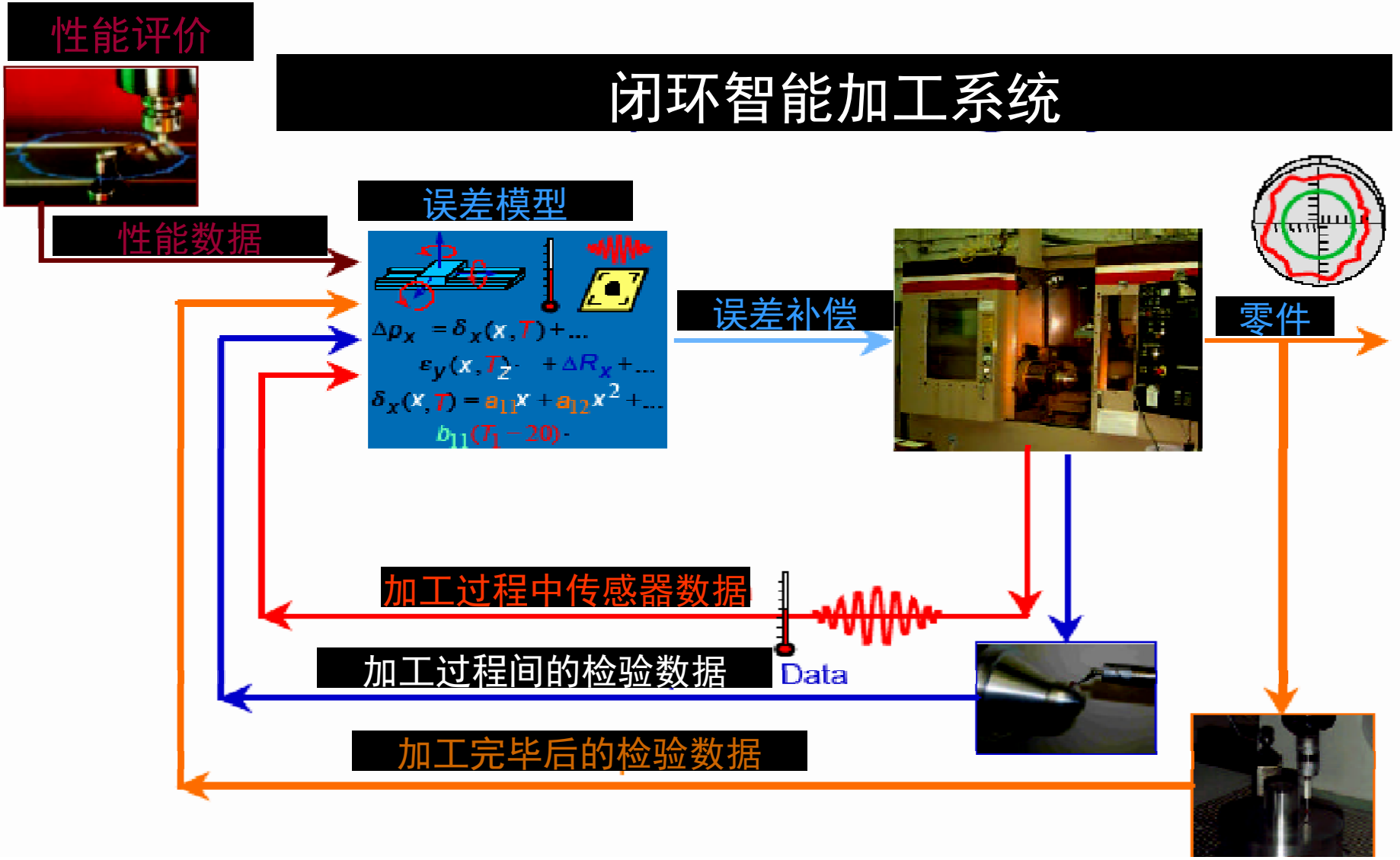
4. 关键支撑技术—智能加工装备

1）智能机床



4. 关键支撑技术—智能加工装备

1）智能机床



4. 关键支撑技术—智能加工装备

信息塔(e-Tower)

机床信息化，具有语音、文本和视像等通讯功能。与生产计划调度系统联网，实时反映机床工作状态和加工进度

操作权限指纹确认。工件试切时，可在屏幕观察加工过程。故障报警显





4. 关键支撑技术—智能加工装备

2）智能机器人

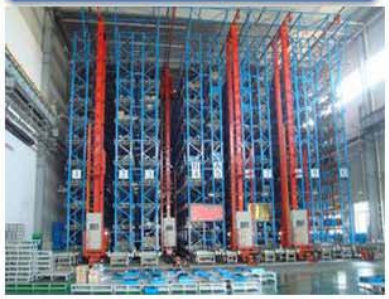
工业机器人



AGV自动导引车



自动化物流设备



轨道交通自动化



自动检测生产线



洁净自动化装备



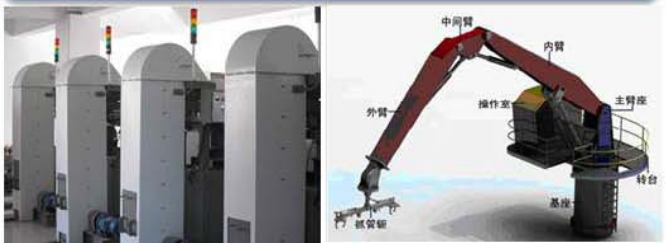
高端自动化装备



激光技术自动化



能源装备自动化



智能服务机器人

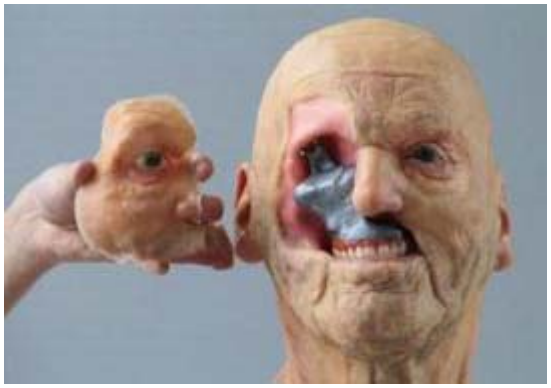


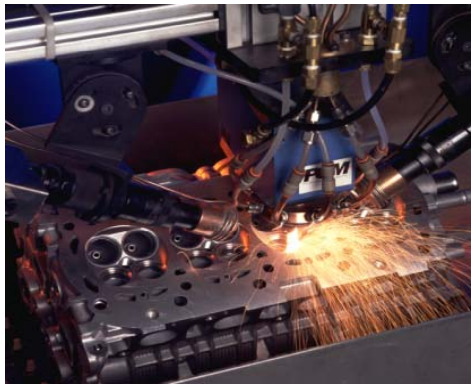
4. 关键支撑技术—智能加工装备

3）增材制造（3D打印）

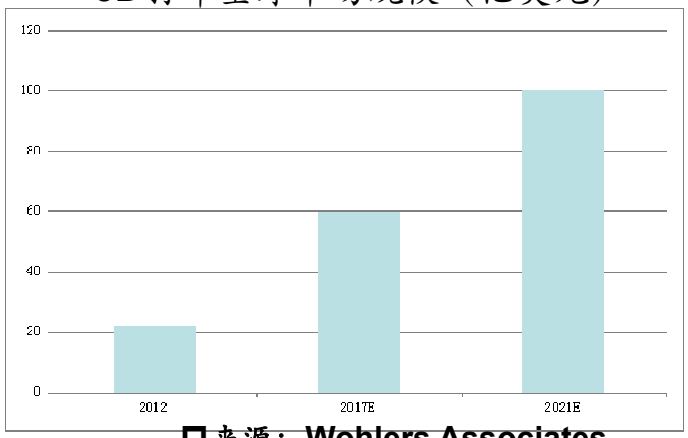
增材制造是采用材料逐渐累加的方法制造实体零件的技术，被誉为有望产生“新一次工业革命”的代表性技术。



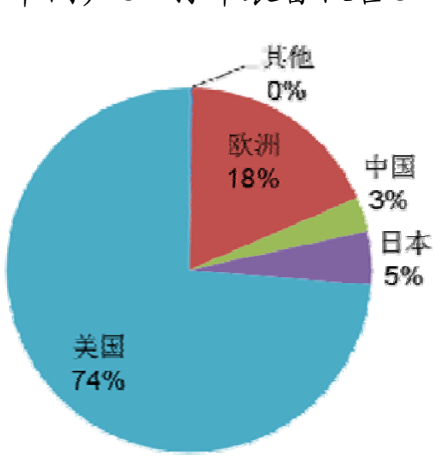




3D打印技术有待充分成熟，主流市场有待进一步培育。从技术成熟到适应市场需求还将需要5~10年的培育期。

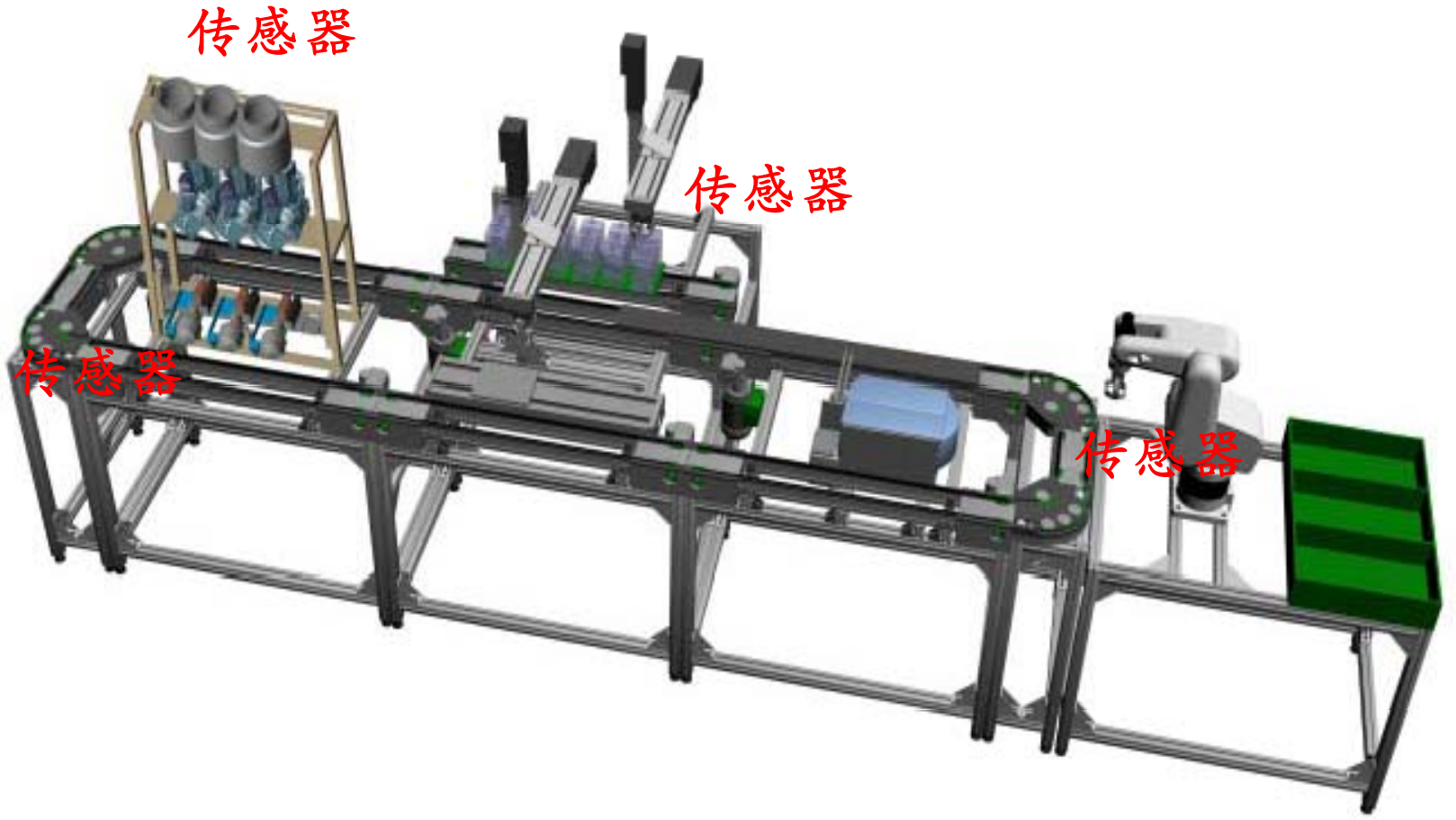


□来源：Wohlers Associates



4. 关键支撑技术—智能传感器

1) 基于智能传感的物联网络



4. 关键支撑技术—智能传感器

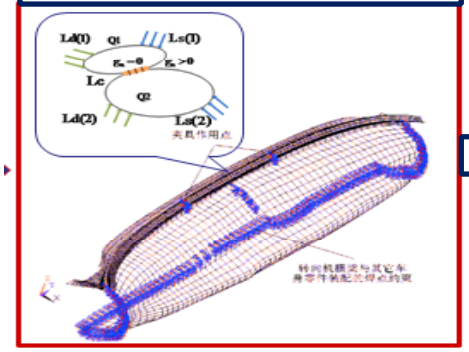
基于智能传感的物联网络



4. 关键支撑技术—智能制造工艺

装配顺序　零件公差　定位装夹　连接参数

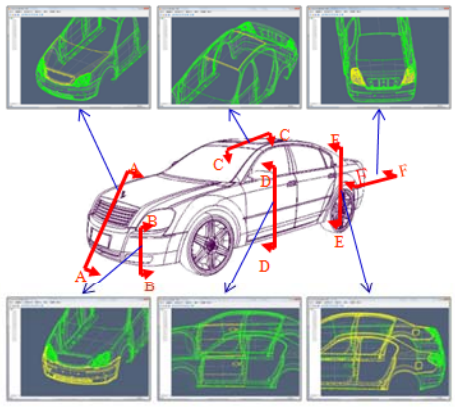
新工艺设计模型



智能车身工艺设计系统

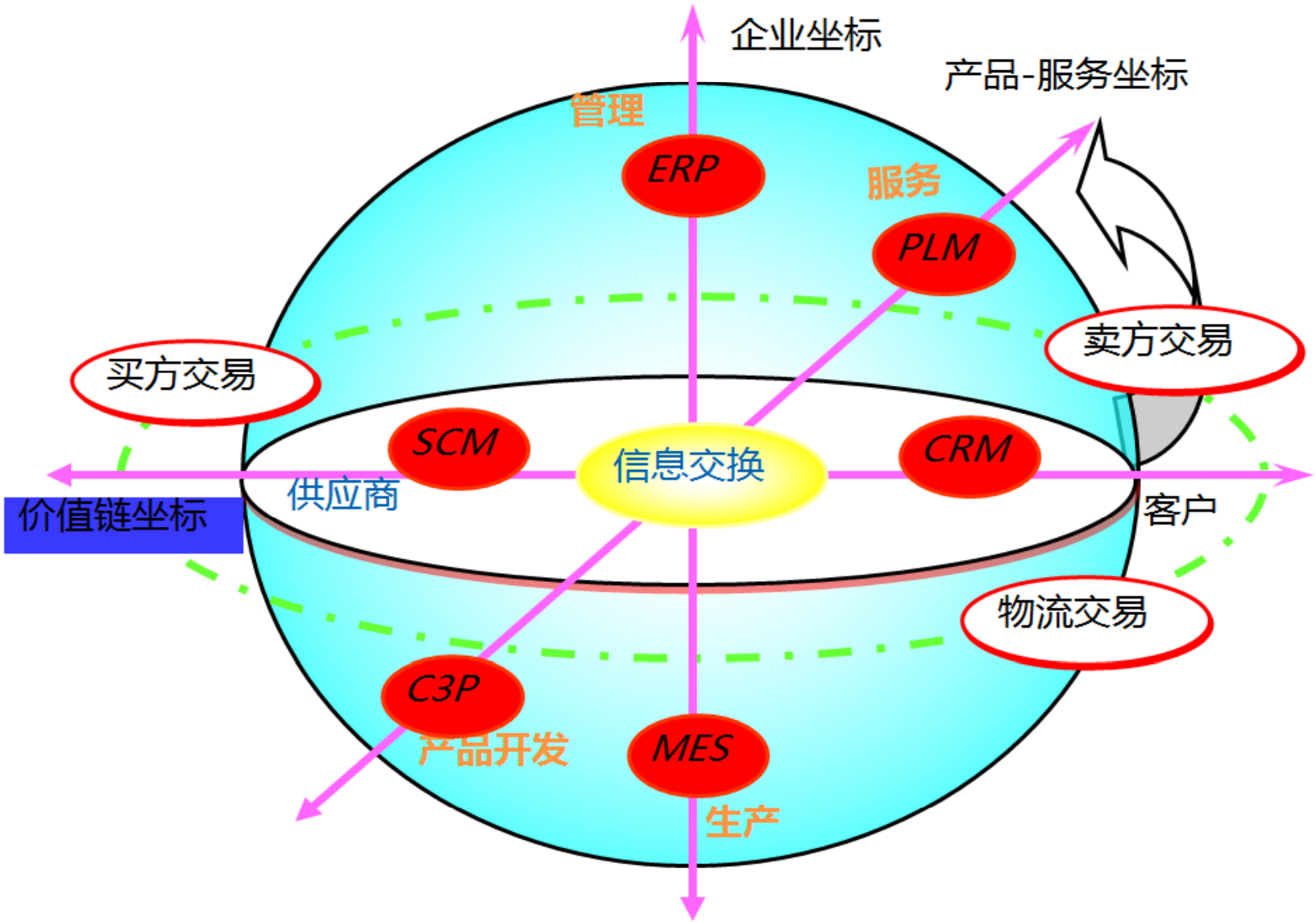


典型结构封样数据库





4. 关键支撑技术—网络服务



5. 智能制造应用愿景

中德签署《中德合作行动纲领》

2014年10月10日，中华人民共和国国务院总理李克强在访问德国期间和德国总理默克尔，联合发表了《中德合作行动纲领》，重点突出了双方在制造业就“工业4.0”计划的携手合作。双方将以中国担任2015年德国汉诺威消费电子、信息及通信博览会(CeBIT)合作伙伴国为契机，推进两国在移动互联网、物联网、云计算、大数据等领域的合作。

借鉴了德国的工业4.0计划，我国也制定了《中国制造2025》计划，目前初稿已经完成，在部分地区已经展开了试点工作，要在2025年对制造业完成升级转型。随着劳动力供给的减少，用人成本的上升，我国的制造业亟需转型。

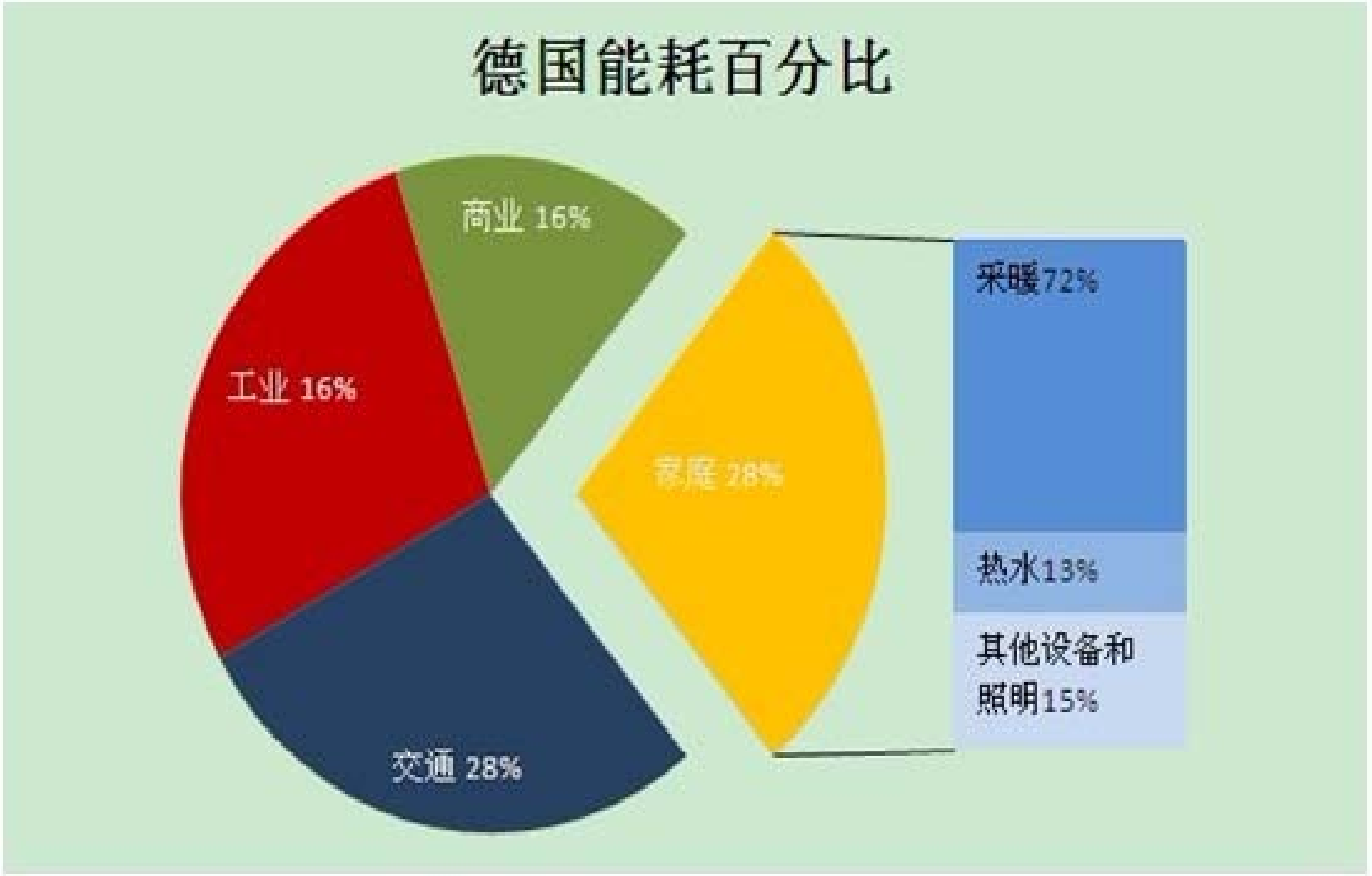
虽然面临着众多的问题，工业4.0对于中国的制造业有着举足轻重的意义，相信就在不远的未来大家就会体验到工业4.0带来的便利!





5. 智能制造应用愿景

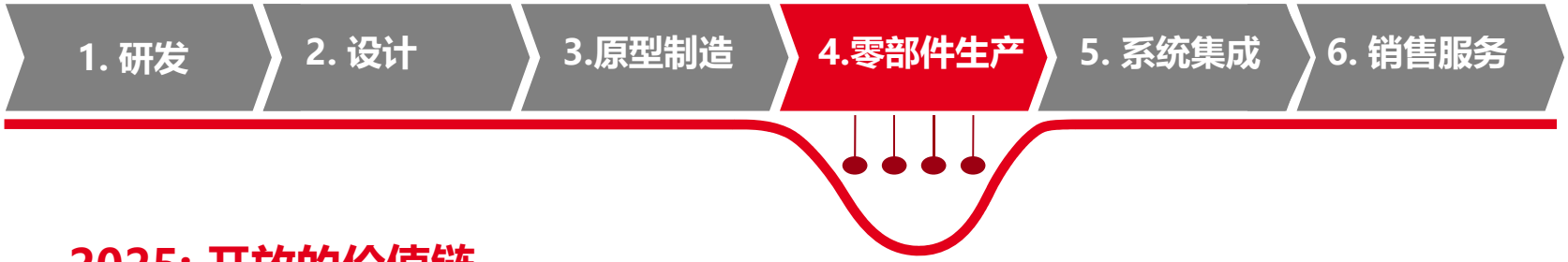
1）能耗与效益大幅度提升



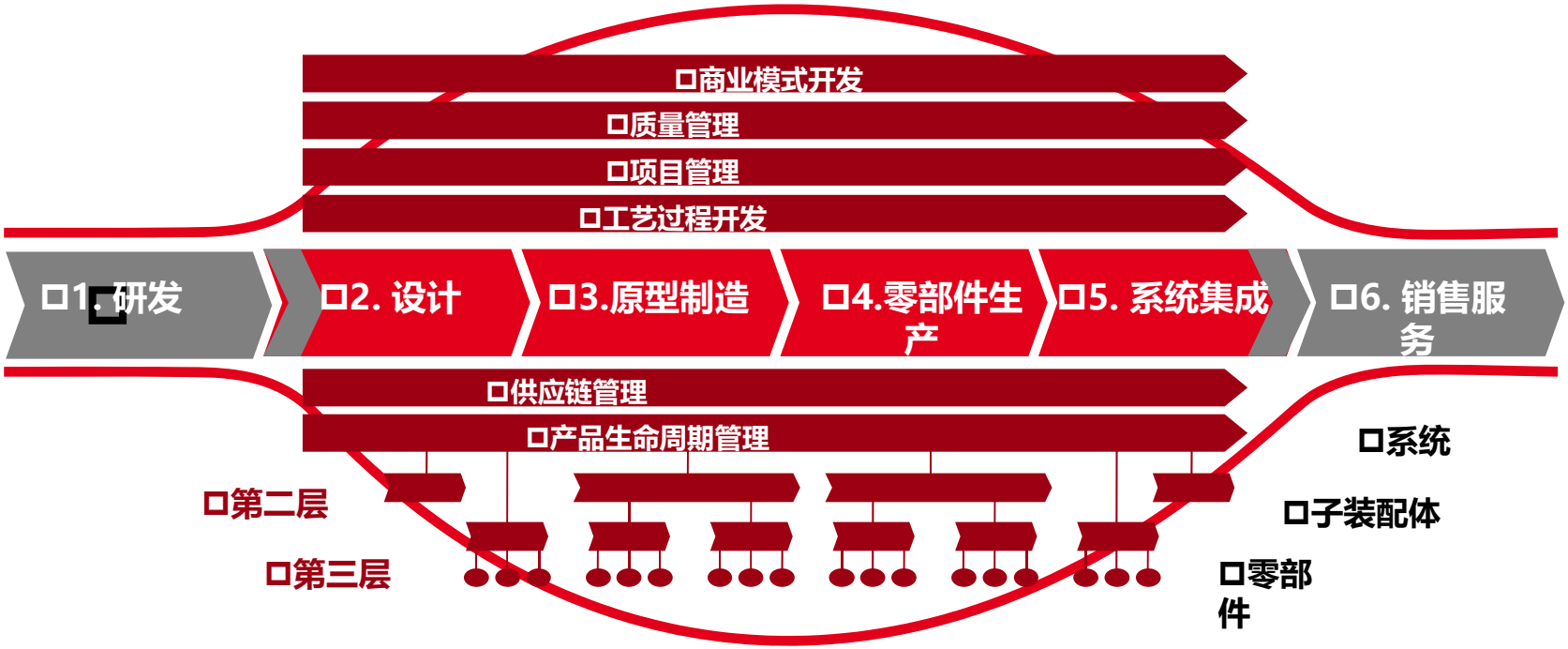
5. 智能制造应用愿景

2）制造模式变革

1980: OEM价值链



2025: 开放的价值链



5. 智能制造应用愿景

2）中国制造技术突破



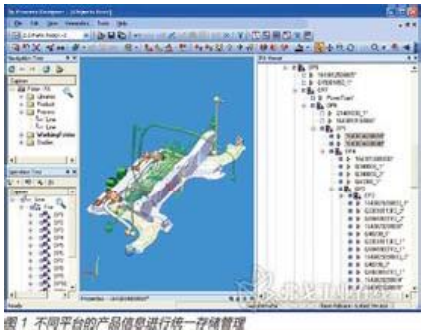
数控机床



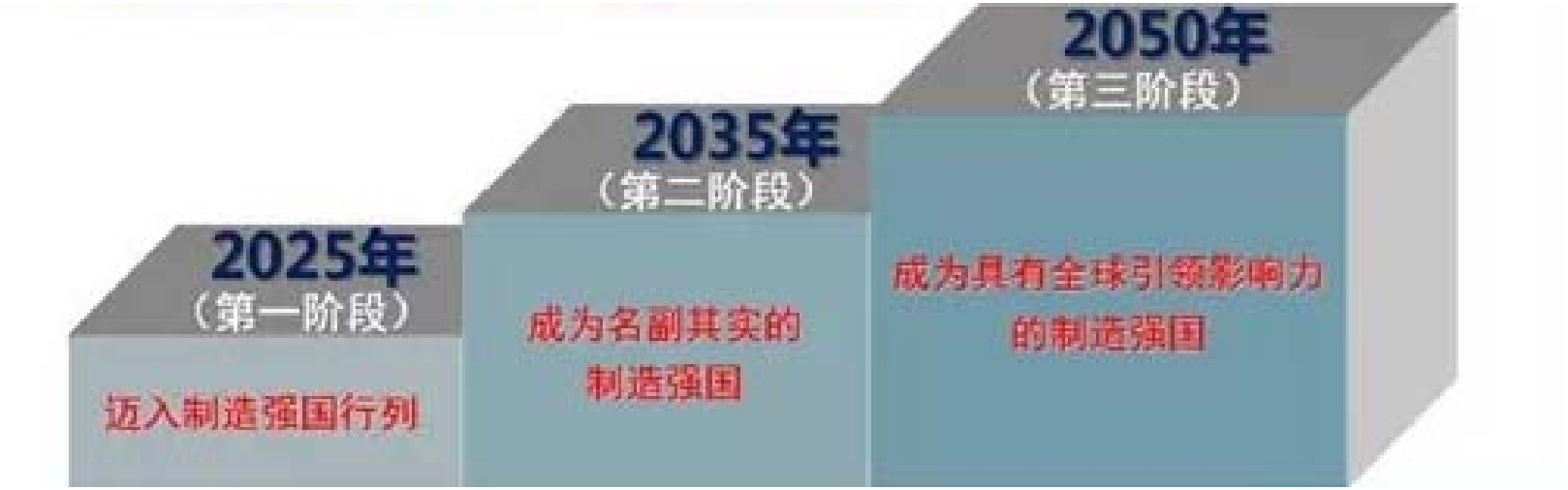
工业机器人



传感器



工艺软件



谢 谢！