



# 系统工程原理与方法



## 第四讲、系统集成

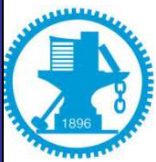
彭勤科

系统工程研究所

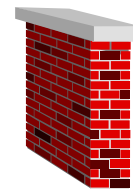
E-mail: [qkpeng@xjtu.edu.cn](mailto:qkpeng@xjtu.edu.cn)

Tel: 82667964

2020年5月27日



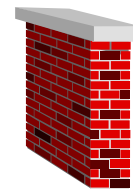
# 系统集成



- 背景
- 系统集成的概念
- 系统集成的困难所在
- 集成的分类
- 集成科学
- **CIMS**概念



# 概要



欢迎 → ?

- **系统集成**：集成是连接、综合的意思，即通过某种方法和途径把相互独立的部分连接或综合起来。

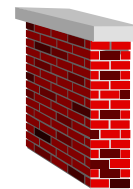
## ■ 系统集成的背景

- V字模型—与分解对应
- 自动化/信息化孤岛
- 新旧系统共存
- 多供应商的系统和软件
- 网络化系统的兴起

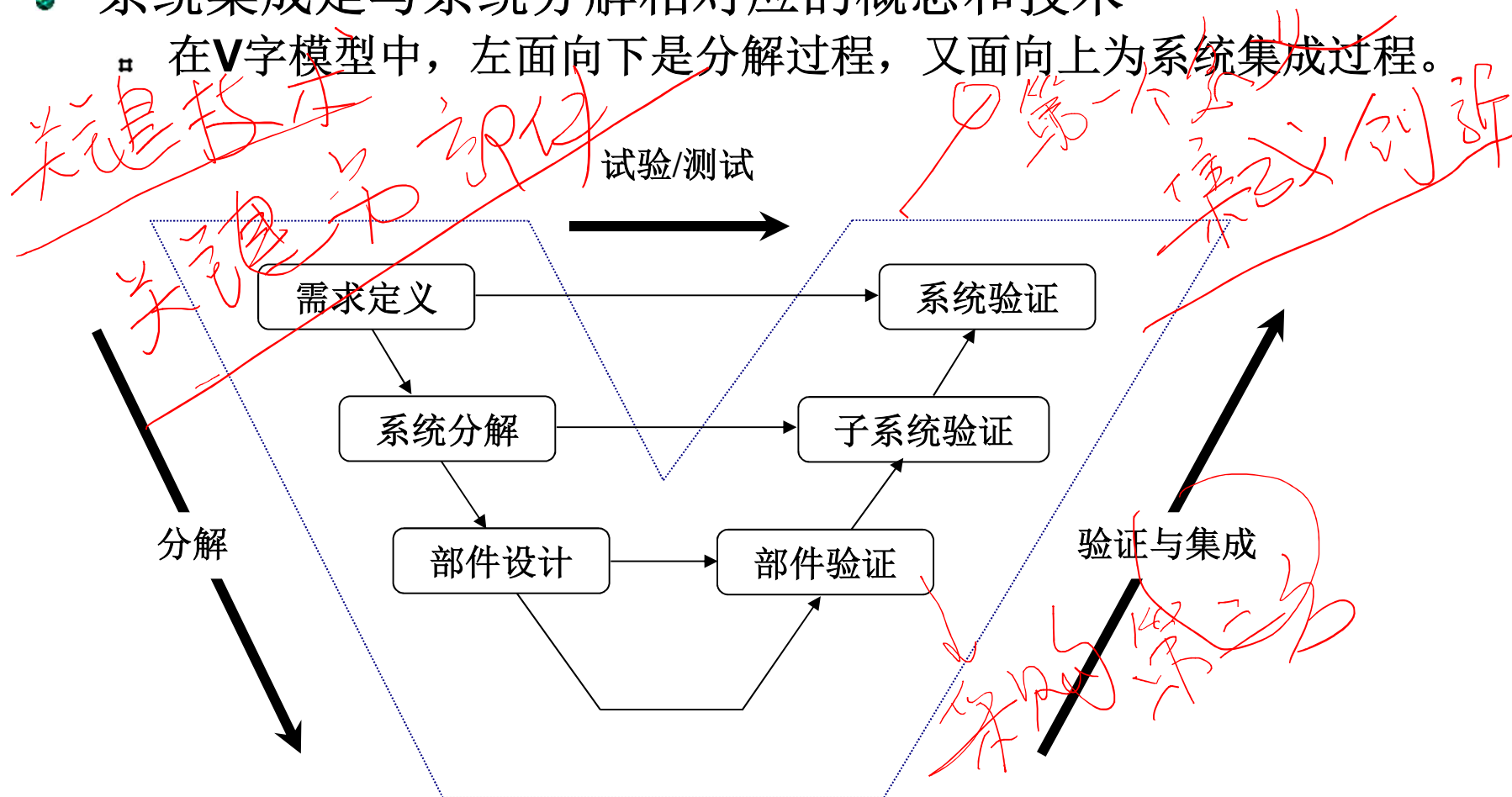
## ■ 系统集成的应用领域

- 计算机集成制造系统
- 控制系统集成
- 网络系统集成
- 计算机系统集成
- 金融信息系统集成

有大量从事系统集成的公司、课程、书、培训、认证等。

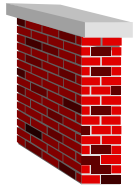


- 系统集成是与系统分解相对应的概念和技术
  - 在V字模型中，左面向下是分解过程，又面向上为系统集成过程。





# 背景（续）



- 自动化/信息化孤岛;
- 新旧系统共存;
- 多供应商的产品、系统和软件;
- 网络化系统的大量出现;
- 有许多与系统集成相关的公司（课程、书，培训，认证等）
- 制造企业从集中的工程、大规模生产、和固定供应链向分布式产品设计、柔性供应链、和基于用户需求的定制化生产方式转变;
- 许多企业为了降低成本和提高市场占有率及生产柔性，把非核心业务（如零部件设计生产、产品配送、和备件生产等）转移给供应商，企业自身集中精力于核心技术和关键产品;
- 企业取得柔性、效率、和快速响应市场能力的关键是信息，在恰当的时间使适当的人使用正确的信息;
- 大量采用包括软件、数据库、和自动化设备等信息技术和产品（**COTS**），信息技术覆盖企业产品生命周期的全过程;
- 精益制造、适时生产、并行工程等管理和组织模式的提出与实践。

第二层含义

制造业

解决方案

CIMS / 工业4.0 / 智能制造  
中国制造2025

美国

日本

中国

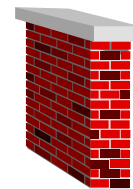
设计 - 生产 - 市场

生产计划

集成



# 系统集成的概念



集成的定义：连接，综合的意思，即通过某种方法和途径把相互独立的部分连接或综合起来。

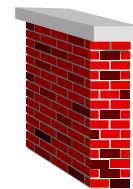
系统集成不是单一的系统，也不是一套计算机硬件（包括计算机系统和网络），更不是一套计算机软件（如**ERP**）；系统集成不仅仅是开放系统和标准化，而是一种融合了应用系统行业特征、计算机知识、通信技术和系统工程方法的综合技术，它包含了许多思想、哲理和观念，是指指导应用系统建设的总体规划、分布实施的方法方案。

制造业  
CIMS

技术 → 产业、行业发展 ⇒ 国际分工  
国际格局



# 集成的必要性



## 集成源于系统的复杂性

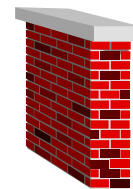
- 复杂系统的特征：需要多学科知识、方法、模型、专家来开发和分析系统。因此，集成必然要涉及多个工具的集成、多种语言集成、不同技术集成，甚至不同组织管理系统开发过程和使用系统的集成。
- 复杂的系统必然是增量开发的，往往会持续几年，期间开发人员、负责单位等会发生变化。
- 通常，即便是系统在修改时，系统也不能停止运行。

技术  $\Rightarrow$  系统集成





# 集成的必要性(续1)



## ● 能力共享

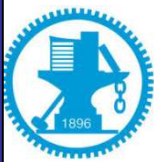
- ▣ 集成可以使具体的部件和系统都获得好处。
- ▣ 具体部件从能力共享获得的益处在于该部件可以利用其它部件的能力，没有必要从头做起；
- ▣ 在系统层，可以从能力共享获得不同方面的益处包括：
  - ④ 部件特殊化与标准化
  - ④ 以上下文敏感的方式替换部件
  - ④ 针对具体应用对系统进行优化（如，实时应用或板级处理所需要的存储空间）。

→ 模块

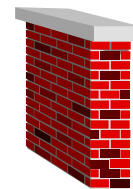
→ 零部件

→ 重复应用





# 集成的必要性(续2)

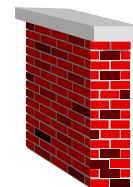


## ● 提高系统开发效率

- ▣ 从系统开发效率来看，集成可以使系统的部件和整个系统也能同时获益；
- ▣ 从部件的角度看，通过部件之间的调用关系可以提高部件开发的效率；
- ▣ 从全局来看，可以对系统进行局部和全局优化，在利用不同的部件或满足不同用户或系统功能需求之间权衡。



## 集成的必要性(续3)



### ● 提供有关系统总体特性的知识

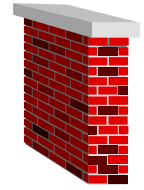
- ▣ 集成使得把系统作为一个整体对待，因此，可以分析、监控、推理系统在运行环境中的结果和性能。正是这个特性，使得对系统部件与集成方式的分析和评价来增加对系统使用的可行性。

- ▣ 集成也有助于权衡分析系统满足不同功能需求、不同的部件、不同的配置或体系结构。

在某种意义上讲，系统集成成为系统满足不同需求提供了一组选择和解决方案。



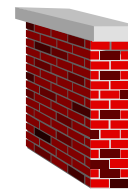
# 系统集成的困难所在



- 选择解决方案困难：在多种选择，并且局部的需求或部件的特征可能是不一致的情况下，要确定满足系统总体功能的解决方案是非常困难的。
- 从局部性能和行为推断系统总体性能和行为的困难：从个体部件的特征或部件的配置与关系分析推断系统整体的特征和行为是非常困难的。因此，要确定什么样的部件或部件需要满足怎样的可靠性（**reliable**）、强健性（**strong**）、稳固性（**secure**）、柔性（**flexible**）等时，才能保证满足系统总体的可靠性、强健性、稳固性、柔性等的要求是非常困难的。
- 系统自适应和柔性的要求：人们很少需要一个集成好的系统，而需要一个自适应的和柔性的系统。原因很简单，复杂系统总是随着新用户、新的需求、新的部件、新的环境出现和变化而变化。一个系统很难用一种不变的方式集成。真正的挑战是建立体系结构、过程和基础结构来支持不同程度柔性的要求。



# 集成的类别及其相互联系



- 物理集成：系统集成的基础
- 信息集成：系统集成的核心
- 功能集成：系统集成的目标
- 业务集成：系统集成的最终目的

模型集成：系统核心竞争力

算法集成：

领域集成

□

**CIMS**

□

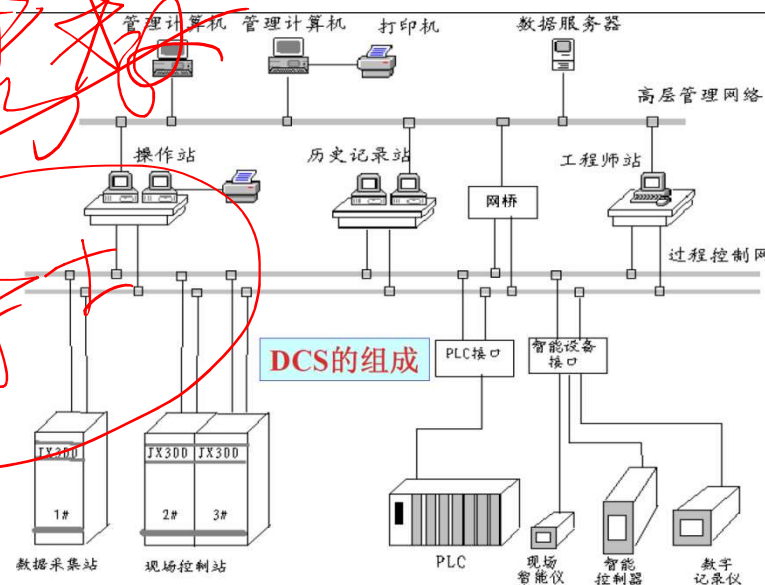
控制系统集成

□

网络系统集成

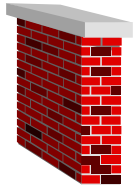
□

计算机系统集成等

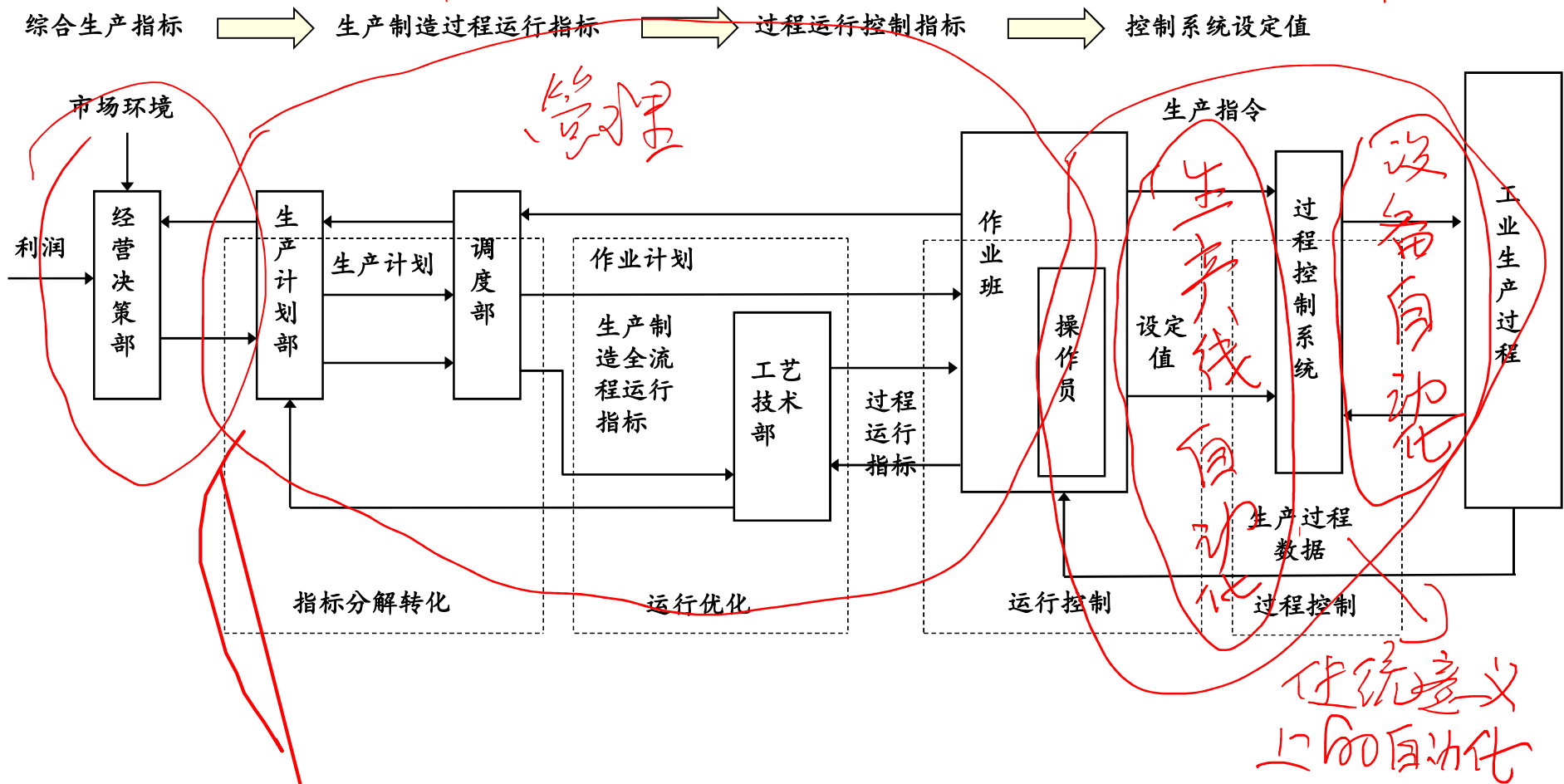




# 生产制造过程的控制与运行管理

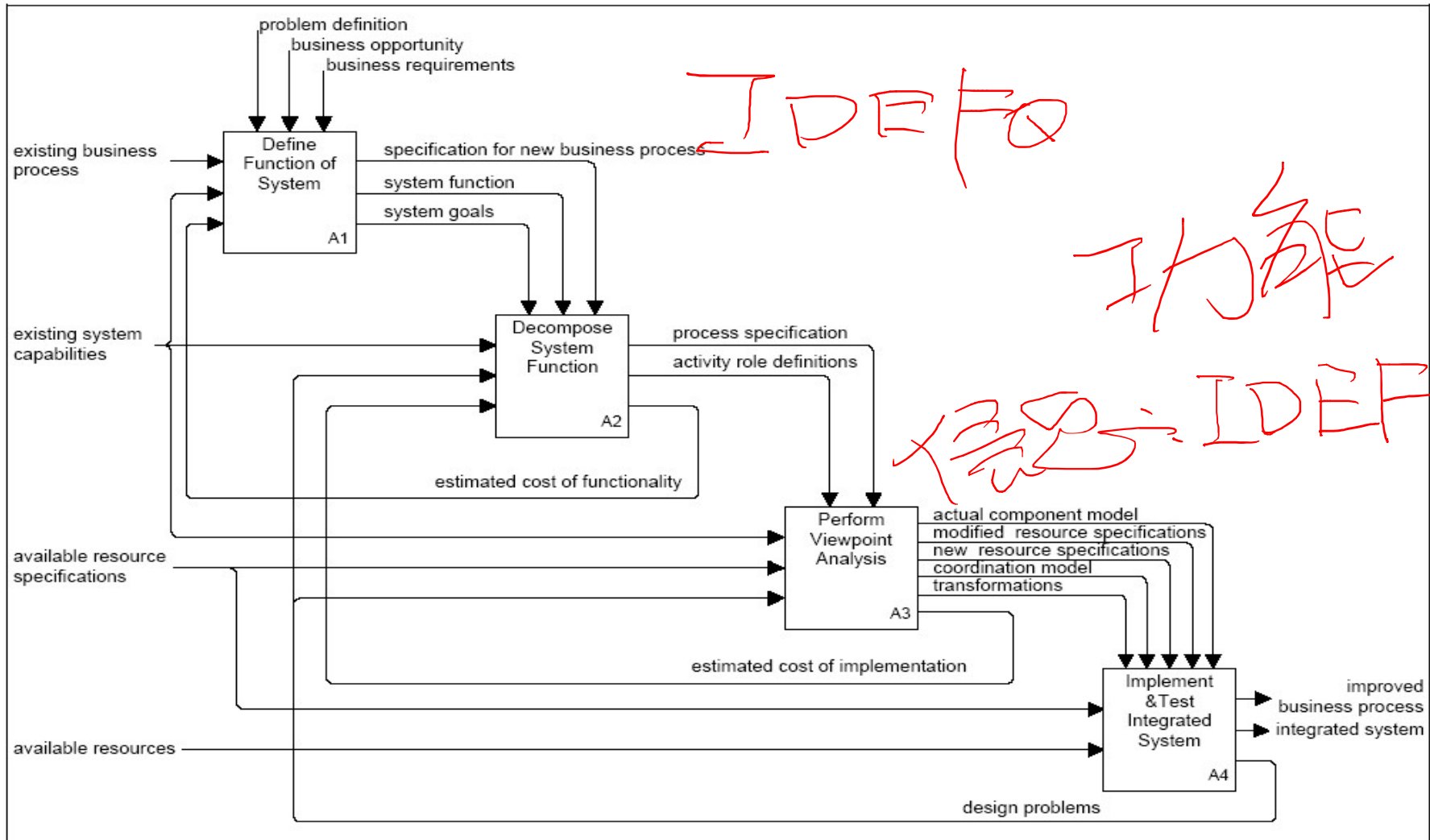
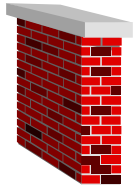


CIMS/智能制造 ← 自动化在更高水平上的体现





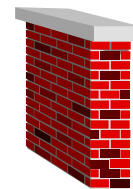
# 集成与系统工程其它过程的关系







# 集成科学

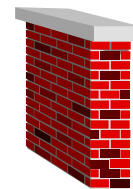


- “集成科学” 仍然是一个理想中的术语，现在还没有这样一个科学，有一系列系统工程的技术，有许多称为系统集成的东西（公司，课程，书，培训，认证等），但是，没有科学。系统集成现在是一门基于丰富实践经验艺术。
- 集成科学需要：分析方法、设计方法，理论基础，...。
- 系统集成的定义：系统集成必须给出严格的定义，这有助于明确的目标、主要内容、关键问题，以及开发比较和评价不同集成技术的标准。





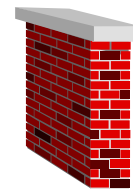
# 基于模型的集成 - 基本观点



- 复杂系统开发的主要问题在于模型，而不是具体实现。
- 系统所有重要知识隐含在模型之中，而且模型提供了系统实现的描述，这种描述可以在不同的目标环境中实现，包括不同软硬件的混合。
- 把精力放在系统模型的研究上，有助于分析系统总体的性能，以便确定系统总体是否满足设计要求



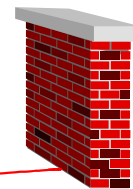
# 基于模型的集成 - 基本的思想



- 利用许多较小的和定义明确的模型、模型之间的关系、以及模型相互集成的方法来研究系统集成的特点和规律，确定系统的集成方案。
- 模型越小，越容易确定它们的范围和限制，从而容易开发、验证和修改；而且具体模型越容易在其它应用中重用。（部件的标准化，原子化）。
- 模型的重用要解决以下问题：模型假设、模型使用环境、内部的限制，在结构化的复杂系统中，多种资源和集成机制将提供多样性、能力和有趣的行为。短期而言，是一个自适应系统；长期而言，是一个进化系统。



# 参考模型、体系结构、集成框架

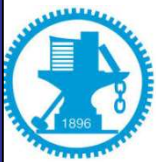


- 针对某类系统/应用一般特性，开发出的集成模型
- 系统的集成模型：对复杂系统，需要从不同的方面建立系统模型

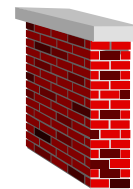
- ▣ 功能模型
- ▣ 信息模型
- ▣ 资源模型
- ▣ 管理模型
- ▣ ●●● ●●● ●●●

信息化

不同实体需求



# 参考模型、体系结构、集成框架 (续1)

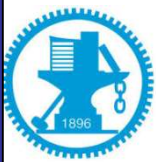


- 模型参考程度的分类
  - ▣ 一般模型
  - ▣ 特殊模型
  - ▣ 具体模型
- 对设计开发过程的支持
  - ▣ 需求分析
  - ▣ 设计
  - ▣ 实施

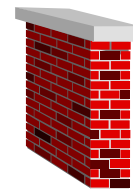


模型选择

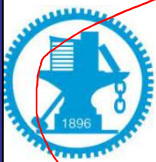
软件开发计划



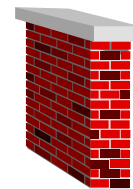
# 参考模型、体系结构、集成框架 (续2)



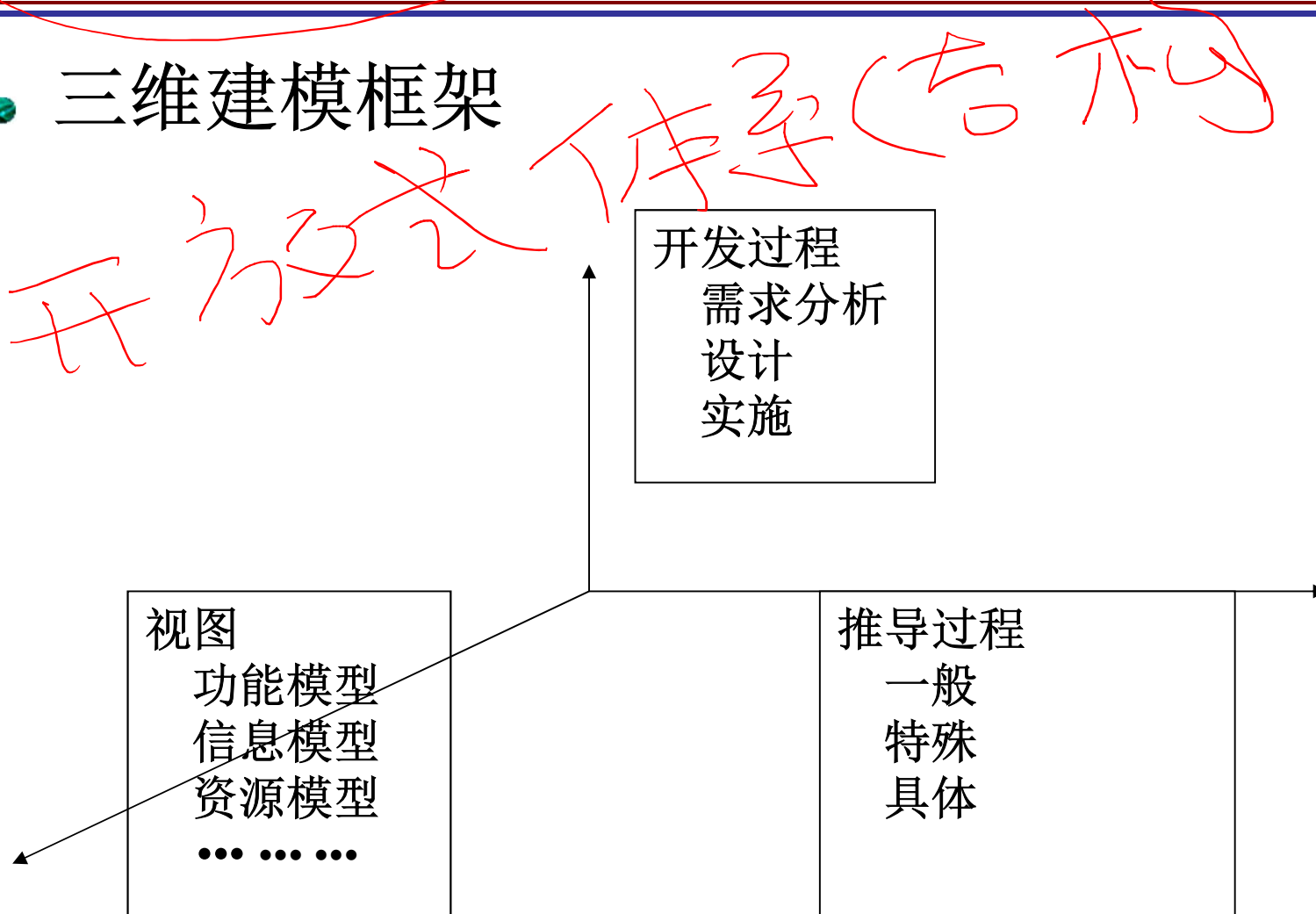
- 系统集成与标准化
  - ▣ 系统的划分
  - ▣ 系统部件接口
  - ▣ 系统部件的描述
  - ▣ 系统设计开发方法
  - ▣ 系统开发管理方法
  - ▣ 系统使用、运行、维护方法



# CIM-OS集成模框架

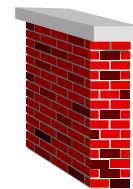


## ● 三维建模框架

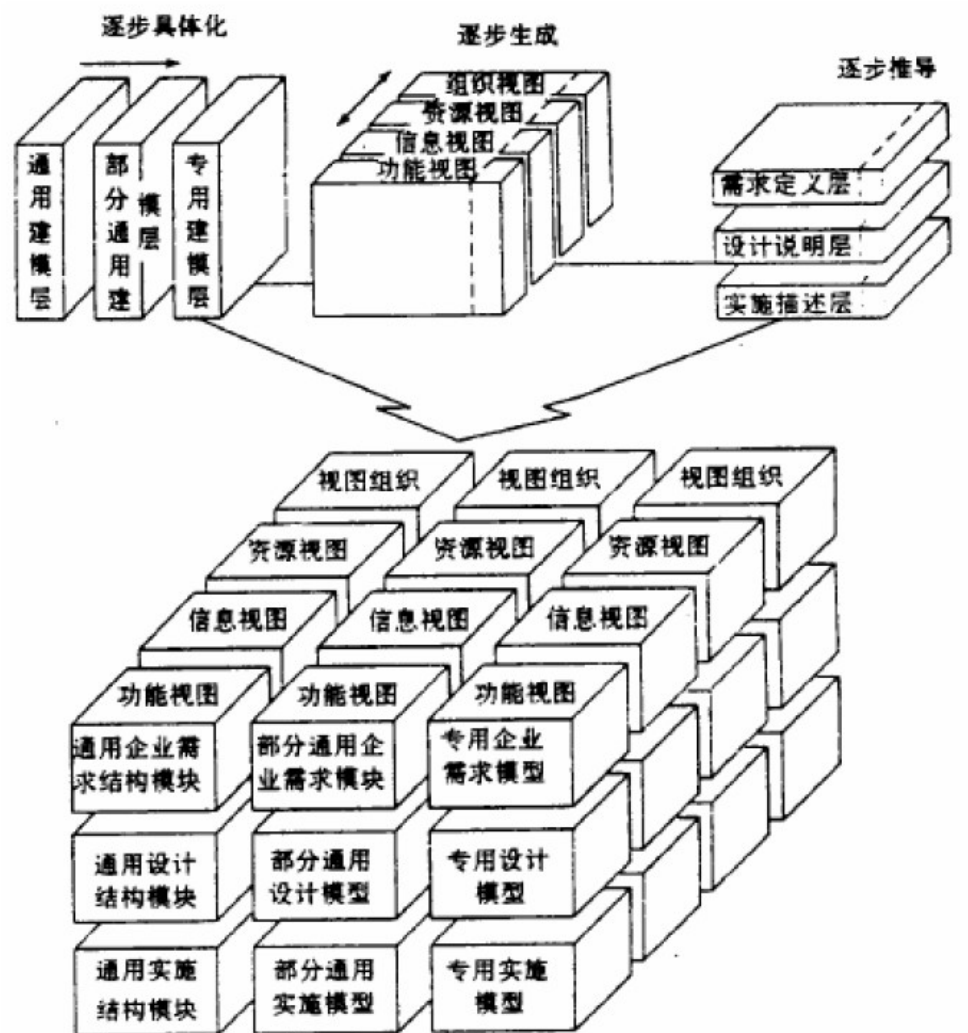




# CIM-OS集成模框架（续）



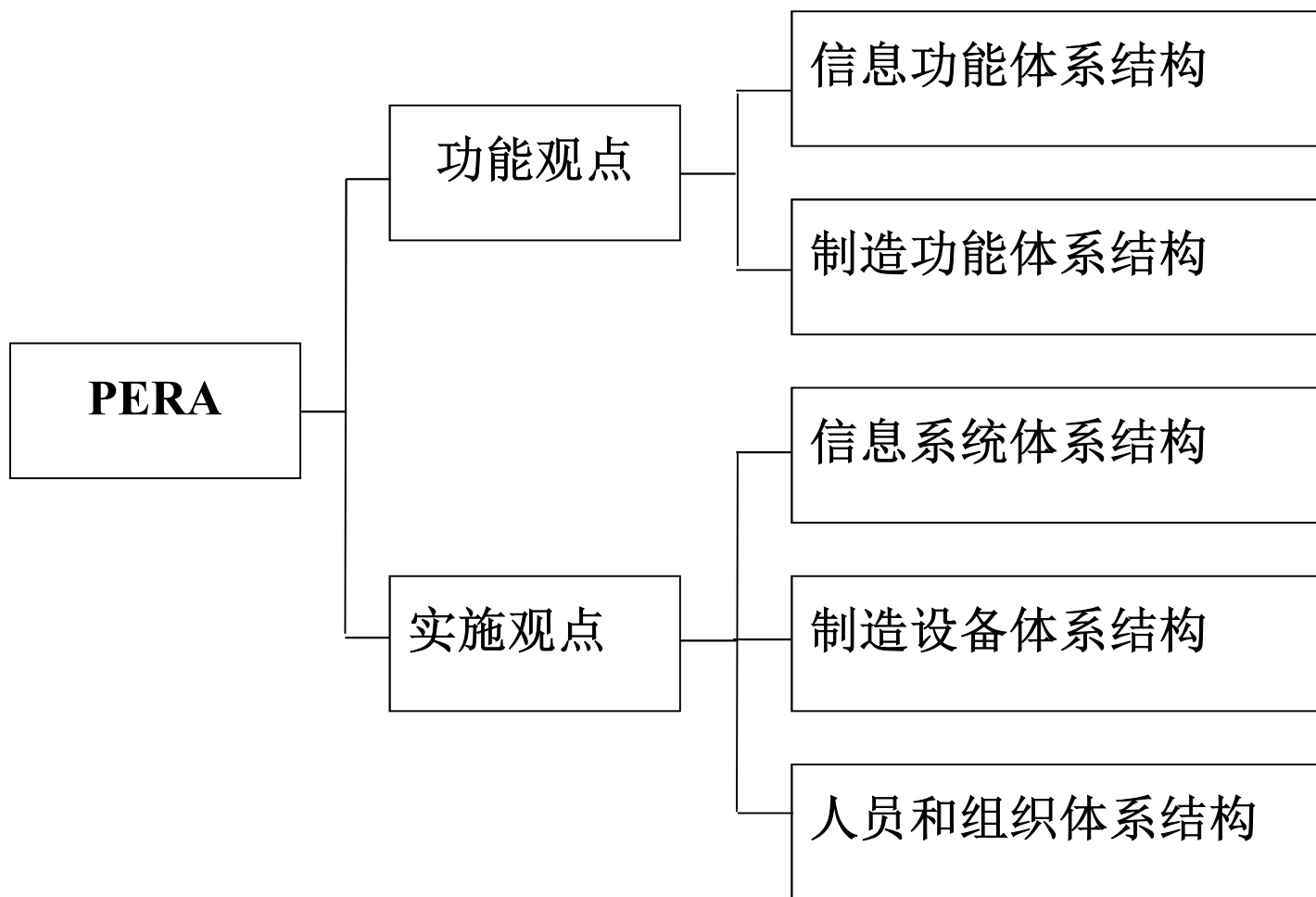
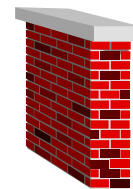
## CIM-OSA模型分类





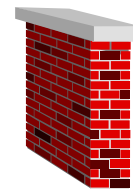


# Purdue参考模型

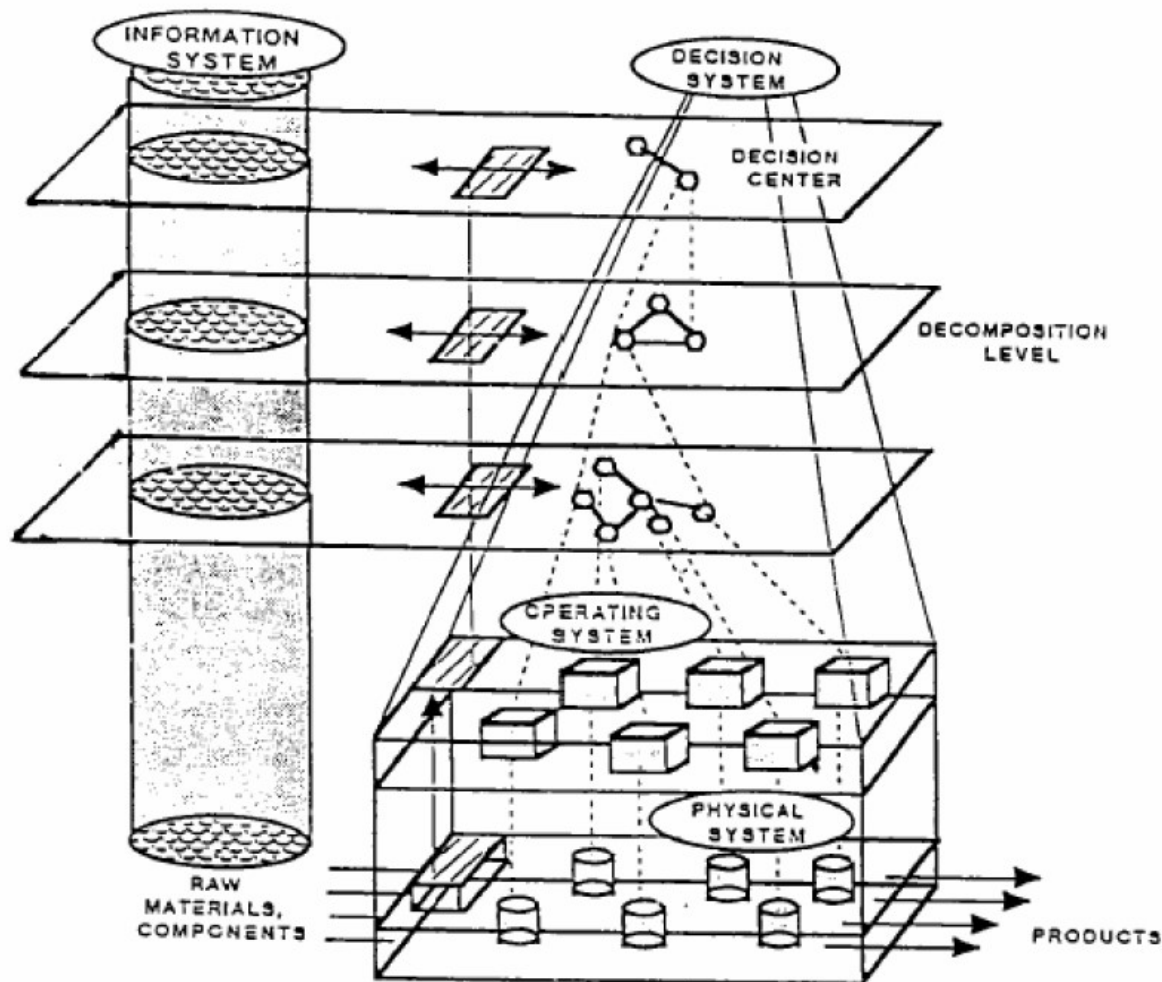


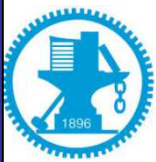


# Grai模型

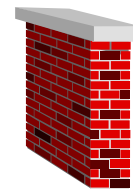


- 信息模型
- 功能模型
- 决策模型
  - ▣ 战略决策模型
  - ▣ 战术决策模型
  - ▣ 战斗决策模型





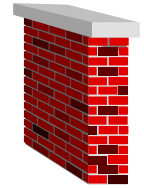
# 参考模型的区别



- 子系统划分
- 建模角度
- 建模方法
- 对设计、开发、分析评价的支持



# CIMS简介

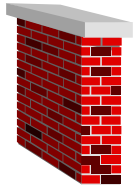


- **CIMS**概念
- 实施**CIMS**的目的
- **CIMS**组成部分

CIMS  
问题  
863计划  
自动化问题



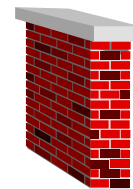
# CIMS概念



- 计算机集成制造系统（**Computer Integrated Manufacturing System**）
- 计算机集成：利用计算机网络和计算机把相互独立的部分连接或综合起来。
- 利用计算机和网络等把制造过程中个环节连接起来，以便提高制造企业对用户需求的响应能力，提高制造企业的市场应变能力和提高企业的生产效率。
- 以信息集成和系统优化为特征的现代集成制造系统(**Contemporary Integrated Manufacturing Systems**)。



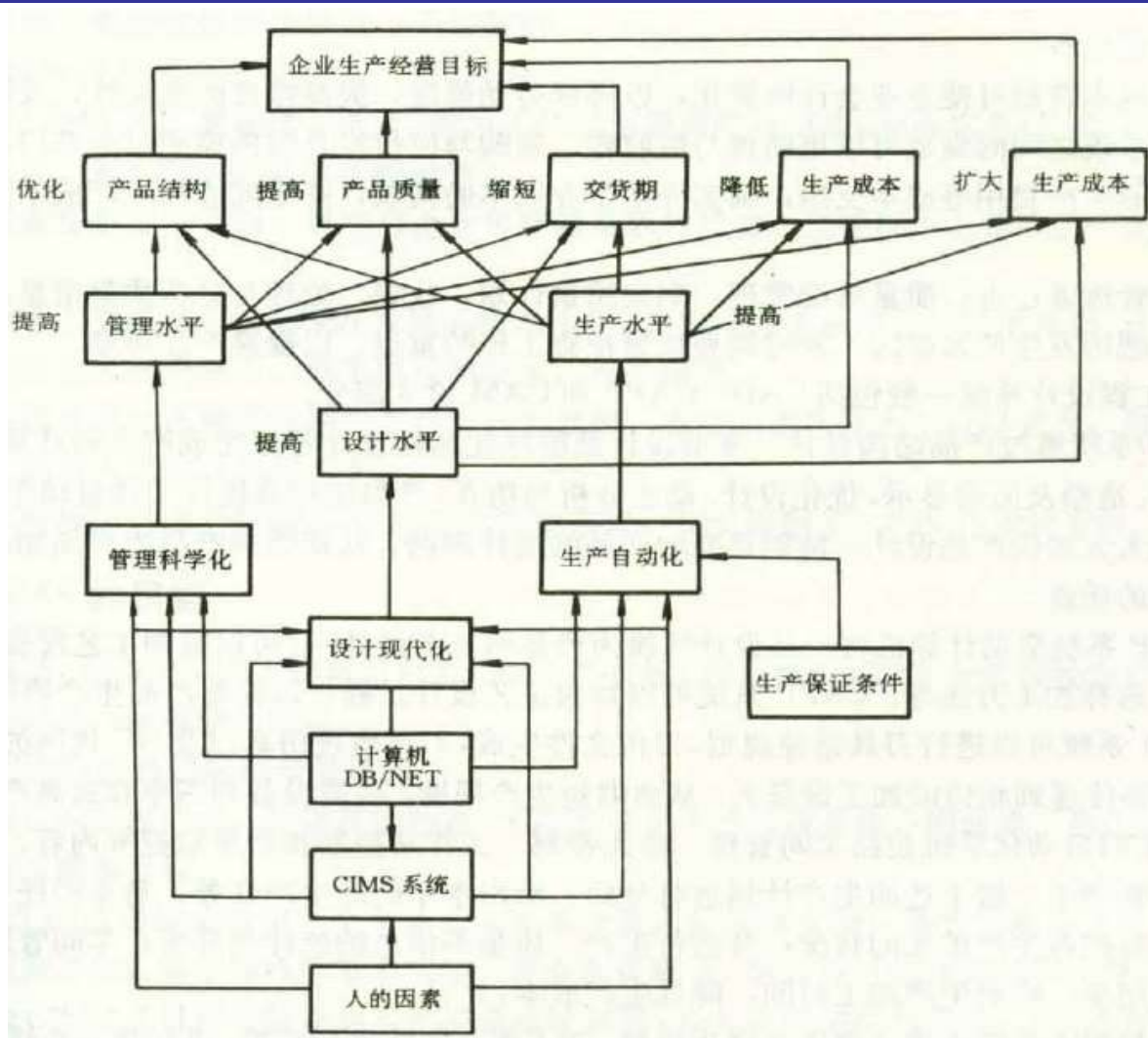
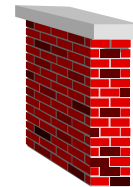
# 实施CIMS的目的



- 将信息技术、现代管理技术和制造技术相结合，并应用于企业产品全生命周期（从市场需求分析到最终报废处理）的各个阶段。通过信息集成、过程优化及资源优化，实现物流、信息流、资金流的集成和优化运行，使人（组织、管理）、经营和技术三要素的集成，以：
  - ▣ 减少新产品开发时间**T**
  - ▣ 提高质量**Q**
  - ▣ 降低成本**C**
  - ▣ 完善服务**S**
  - ▣ 改进环境**E**
  - ▣ 从而提高企业的市场应变能力和竞争能力。



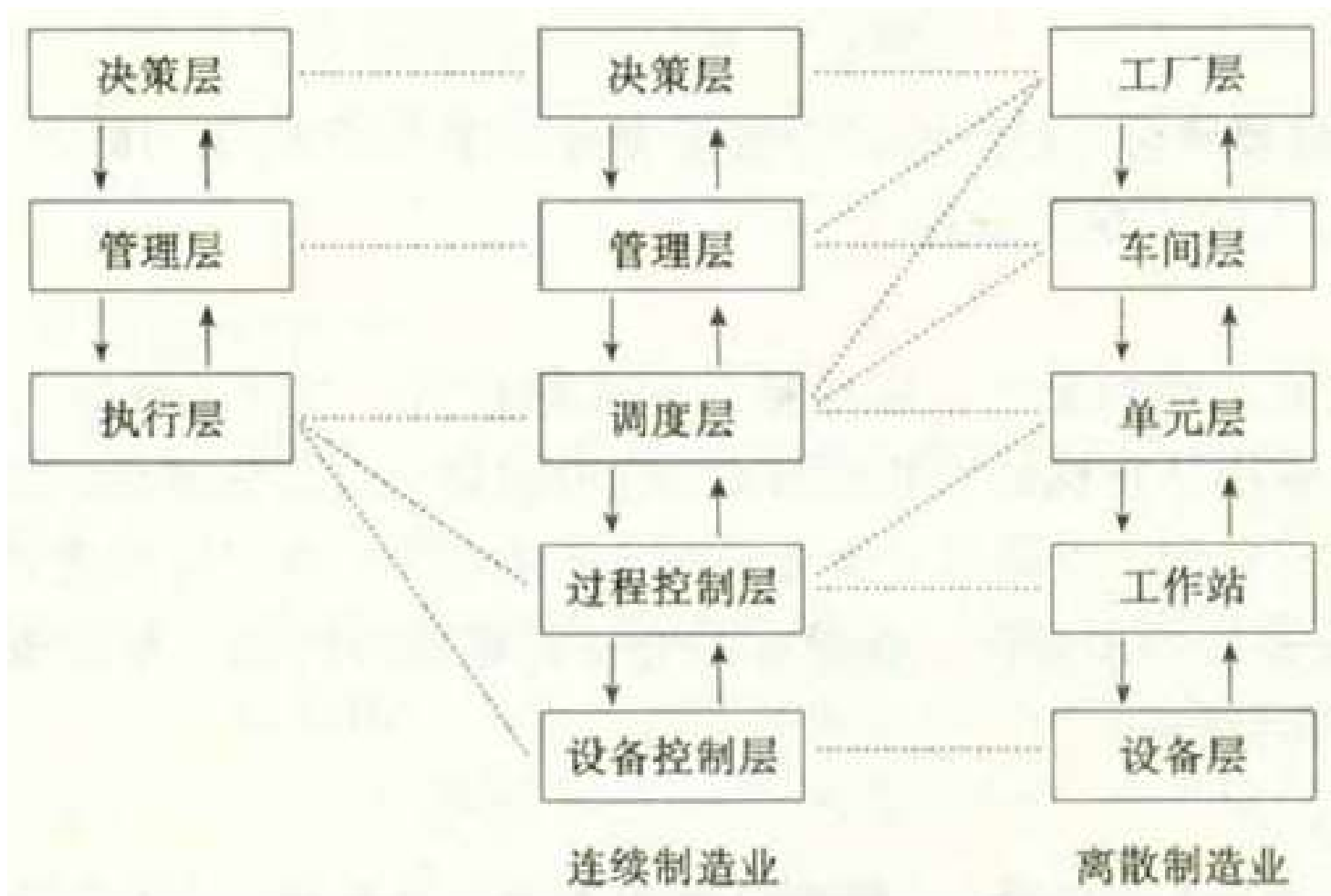
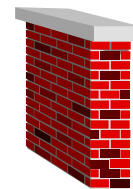
# 实施CIMS的目的-图示

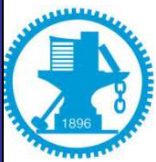




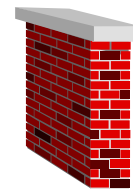


# CIMS组成部分

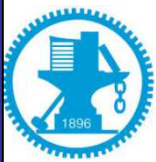




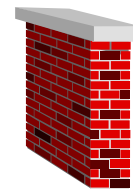
# 管理信息分系统（MIS，ERP，MRPII）



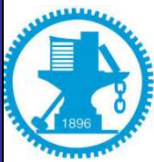
- 信息：收据，发票，台帐，档案，表格，用户投诉，领料单.....
- 管理信息系统：安装在计算机上的一组软件，用来把信息管理起来，对信息进行录入、修改、查找、统计和分析，为企业提供决策依据。
- 功能主要包括：市场预测、销售、生产计划、库存、车间任务和作业、物资供应、设备、综合统计分析、经营决策、财务、人事劳资和办公自动化等，达到缩短产品生产周期、降低流动资金占用、减少成本，提高效益的目的。



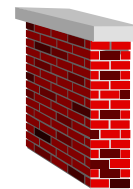
# 设计自动化分系统



- 计算机辅助设计 (**CAD**)
- 计算机辅助工程与结构分析 (**CAE**)
- 计算机辅助工艺设计 (**CAPP**)
- 计算机辅助数控编程 (**CAM**)
- 产品数据管理 (**PDM**)

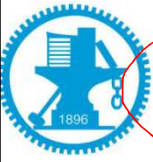


# 制造自动化分系统 (MAS)

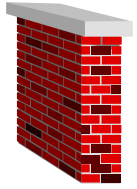


- 由数控机床、加工中心、测量机、运输小车、立体仓库、多级分布式控制系统及相应支持软件组成。
- 在计算机的控制与调度下，根据产品的工程技术信息、车间层的加工指令，完成对零部件加工的作业调度，并将生产现场的信息及时反馈到相应部门，从而达到提高生产率、优化生产过程、降低成本和能耗的目的。

F A



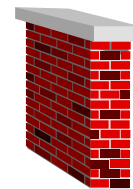
# CAQ分系统



- 定质量的目标与标准，制定质量计划、检验规程与检测计划；
- 通过自动或人工的方式收集企业内部和外部的质量数据；
- 对质量数据进行统计分析，对产品质量进行评价，诊断缺陷及其原因；
- 当诊断出缺陷产生的原因后，将有关纠正措施的控制信息传送到相应的部门、人员及设备；
- 为不同层次的质量问题决策提供依据，进行质量优化与决策。



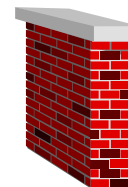
# 支撑分系统



- 计算机网络分系统
  - ▣ 通过此系统把相互独立的系统连接起来，为系统集成提供硬件支持。
- 数据库分系统
  - ▣ 为企业所有信息资源的管理提供支持，从而实现企业数据共享和信息集成。



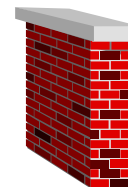
# 罗克韦尔集成解决方案





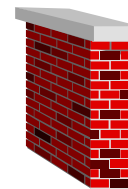


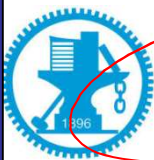
# 苏州新宁水处理集成解决方案



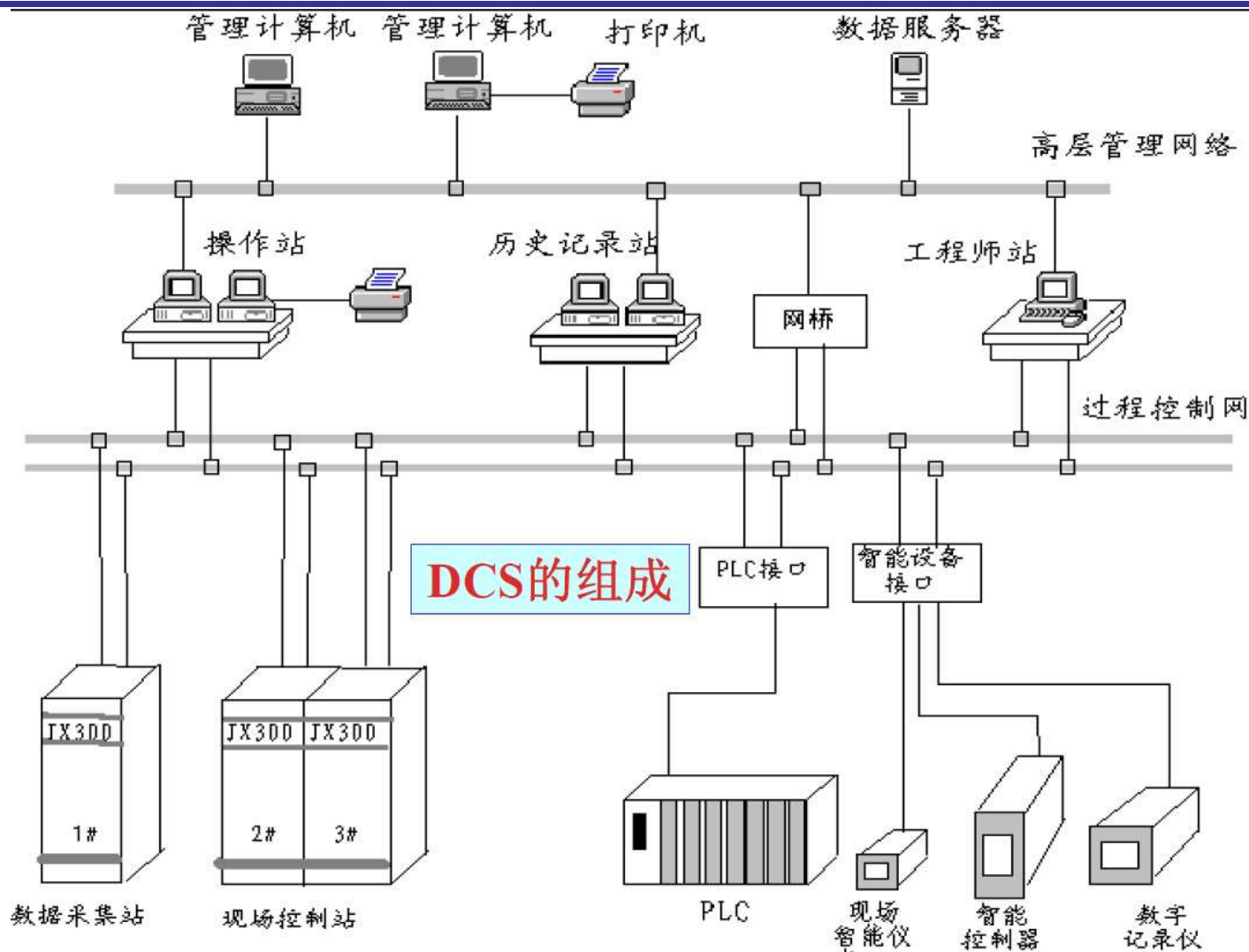
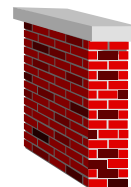


# 西门子企业自动化集成解决方案



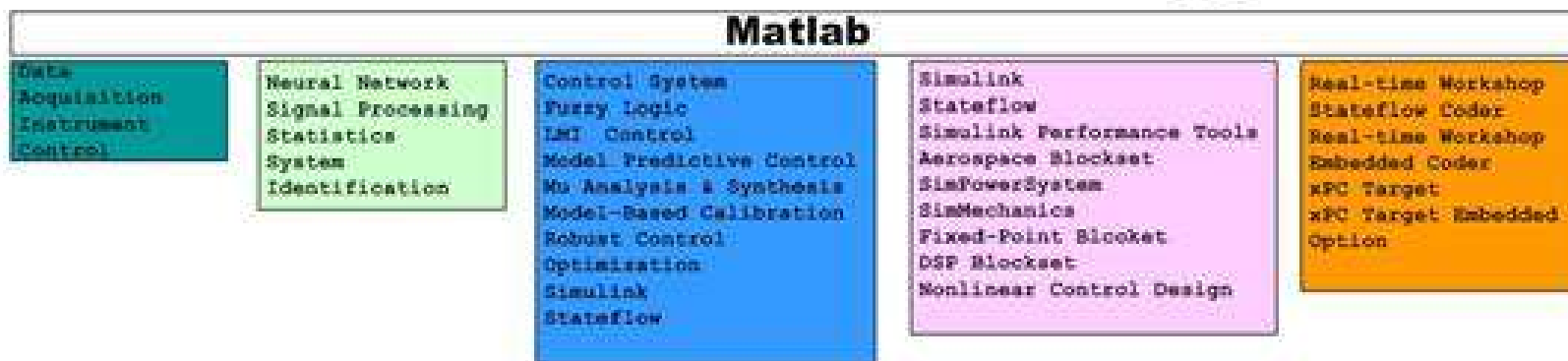
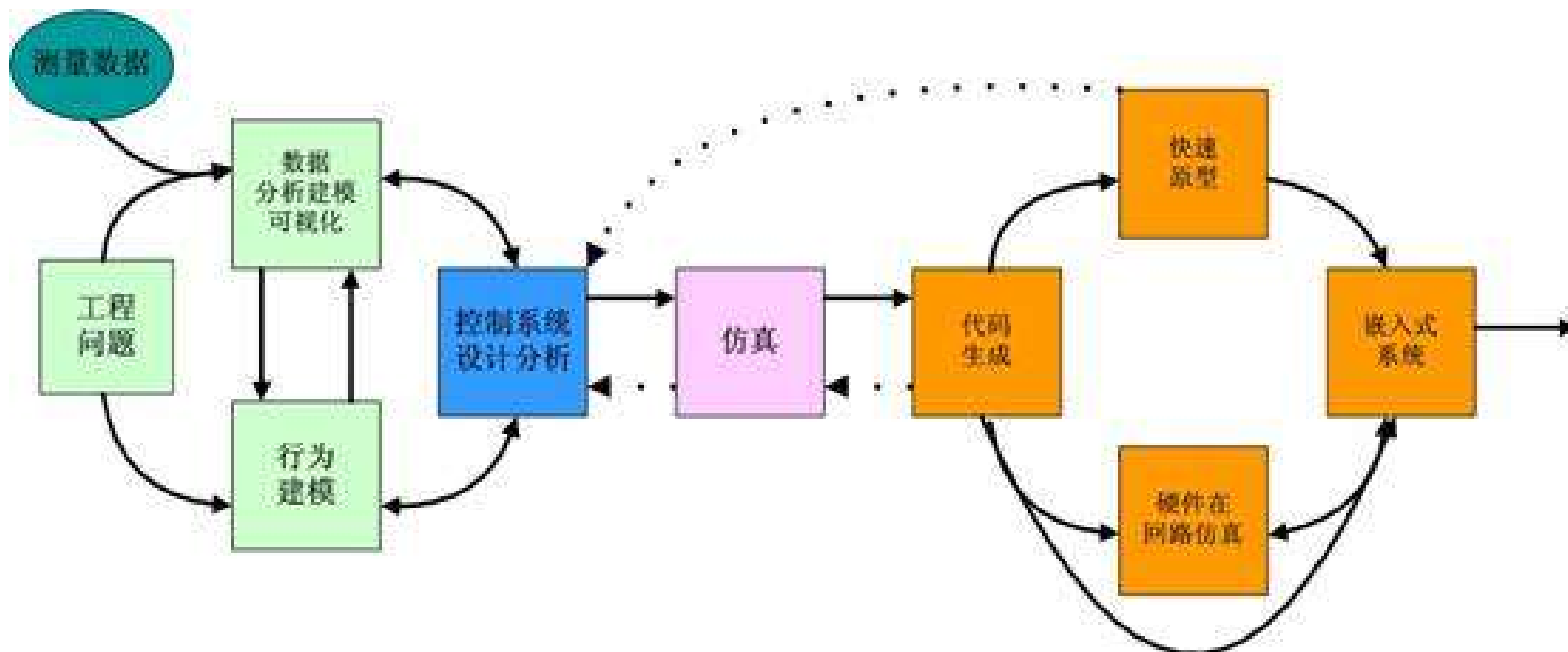
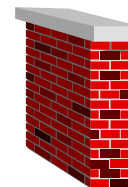


# 浙大中控企业自动化解决方案



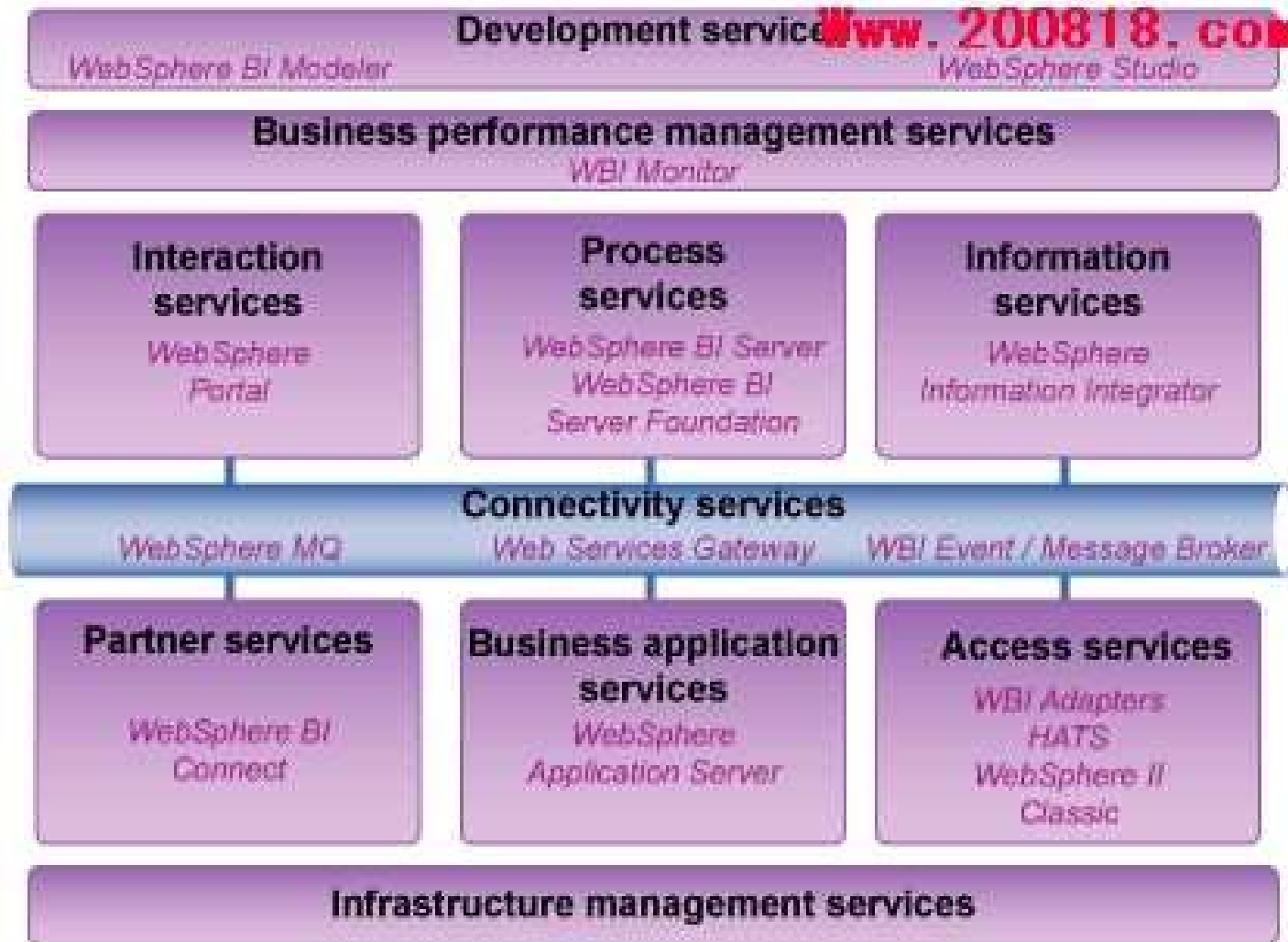
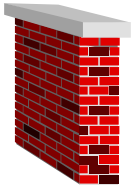


# MATLAB嵌入式应用集成方案





# WebSphere 集成参考体系结构







# ERP与CRM的集成模型

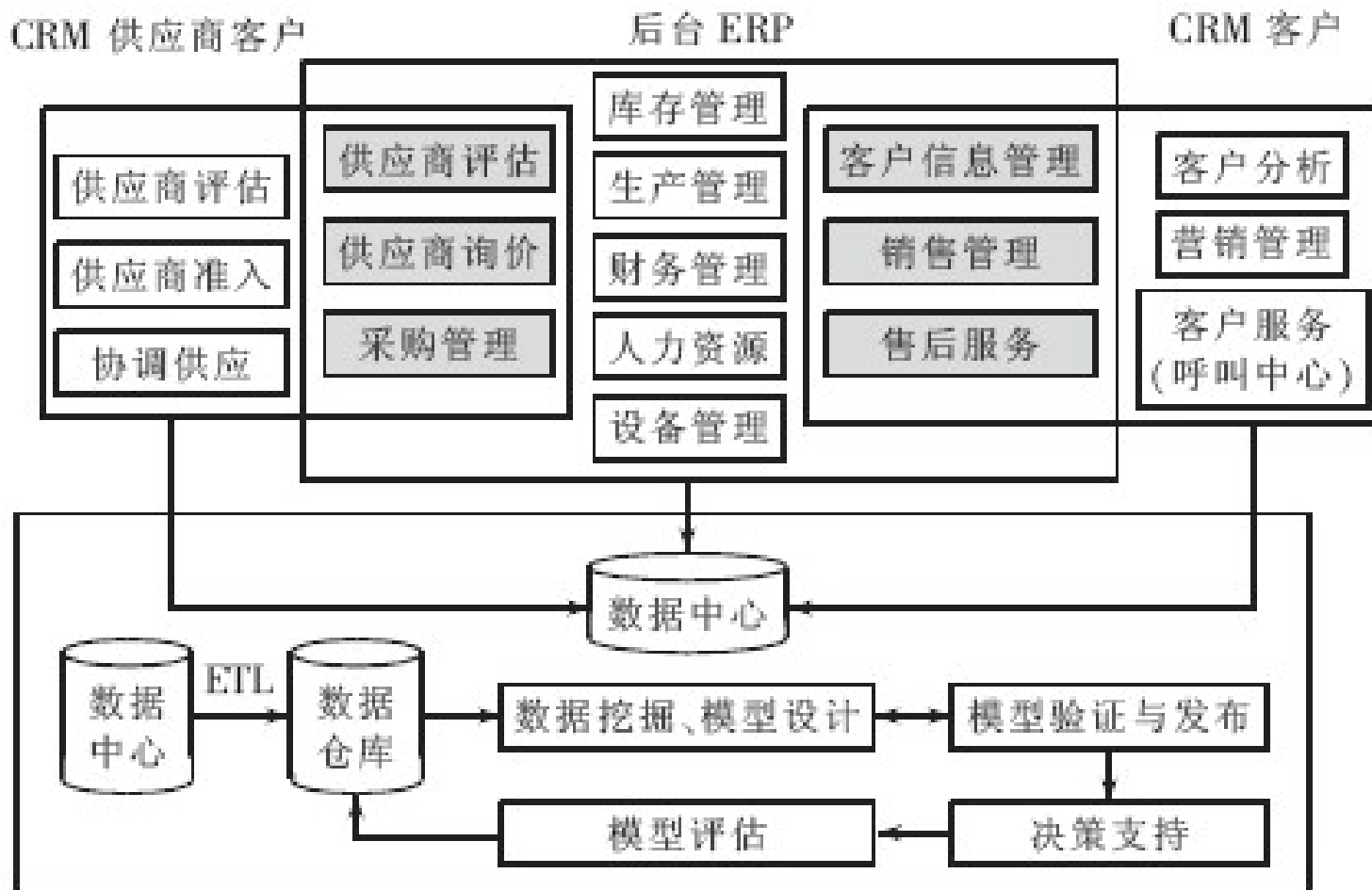
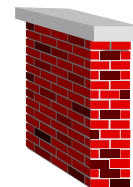
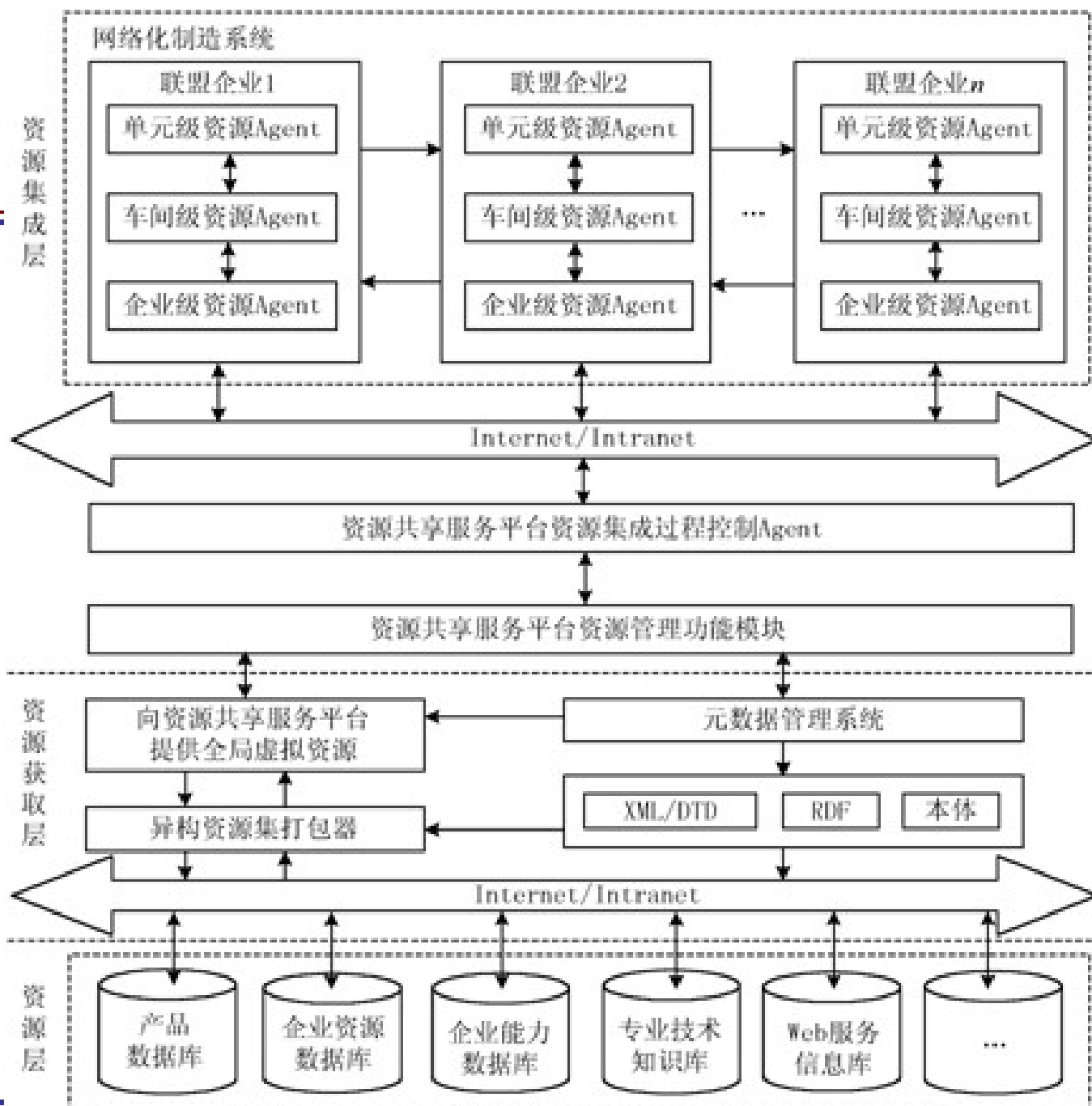


图1 ERP与CRM集成模型



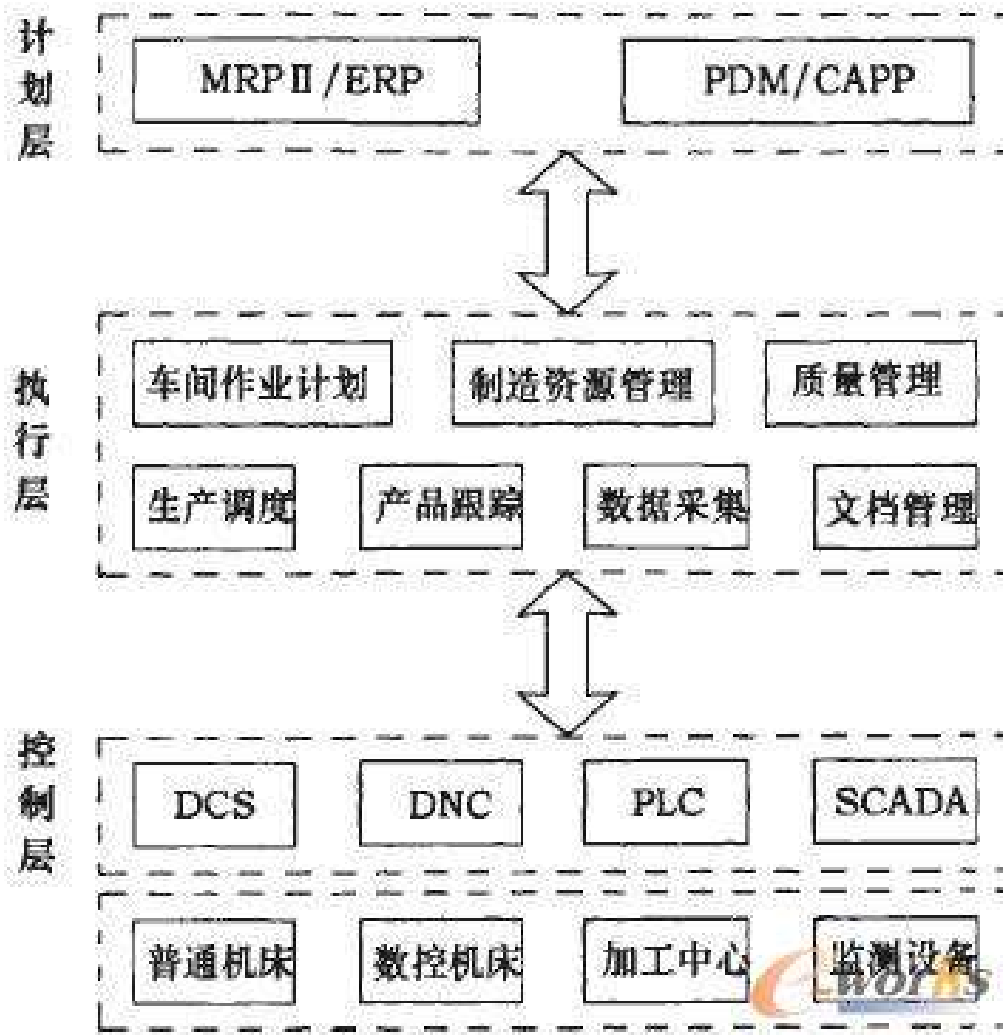
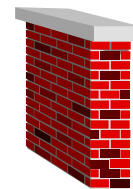
# 网络化制造资源获取和集成模型





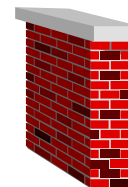


# 制造业三层企业集成模型



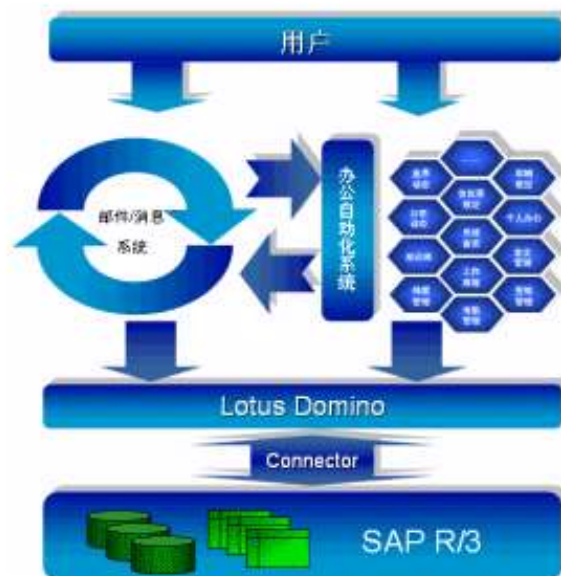
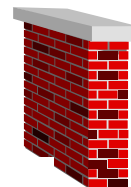


# 企业研发管理的集成解决方案





# 神州数码OA与ERP集成解决方案



- 基于Domino与SAP/R3的集成方案
- 避免数据重复输入
- 提前对数据进行检查
- 对ERP系统数据管理进行跟踪
- 降低管理与培训成本
- 减轻系统负担
- 减轻用户操作难度

## 集成应用和成功案例

### 神州数码

- 财务报销系统制证
- 采购订单电子化
- 人事信息
- 固定资产申请
- 发票管理系统
- 事业部无单运输
- ERP主数据申请
- 销售运作系统
- 系统集成业务前台系统



### 东方通信

- 财务报销系统
- ERP主数据申请
- 人事信息



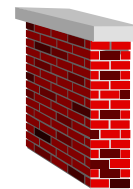
### 中远集团

- 财务报销系统
- 付款通知
- 客户/供应商主数据申请



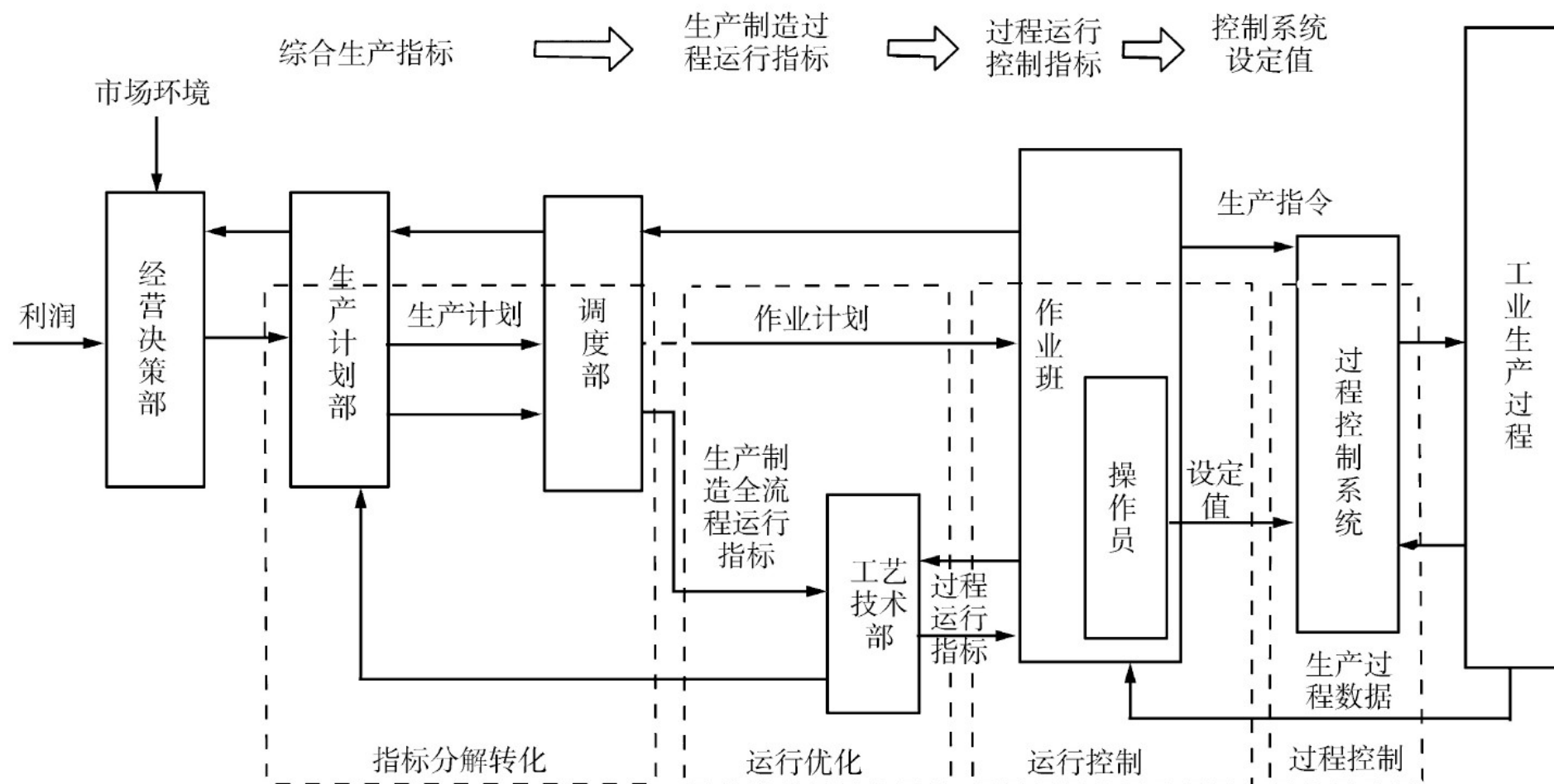
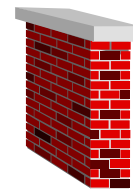


# 协同企业信息系统集成解决方案



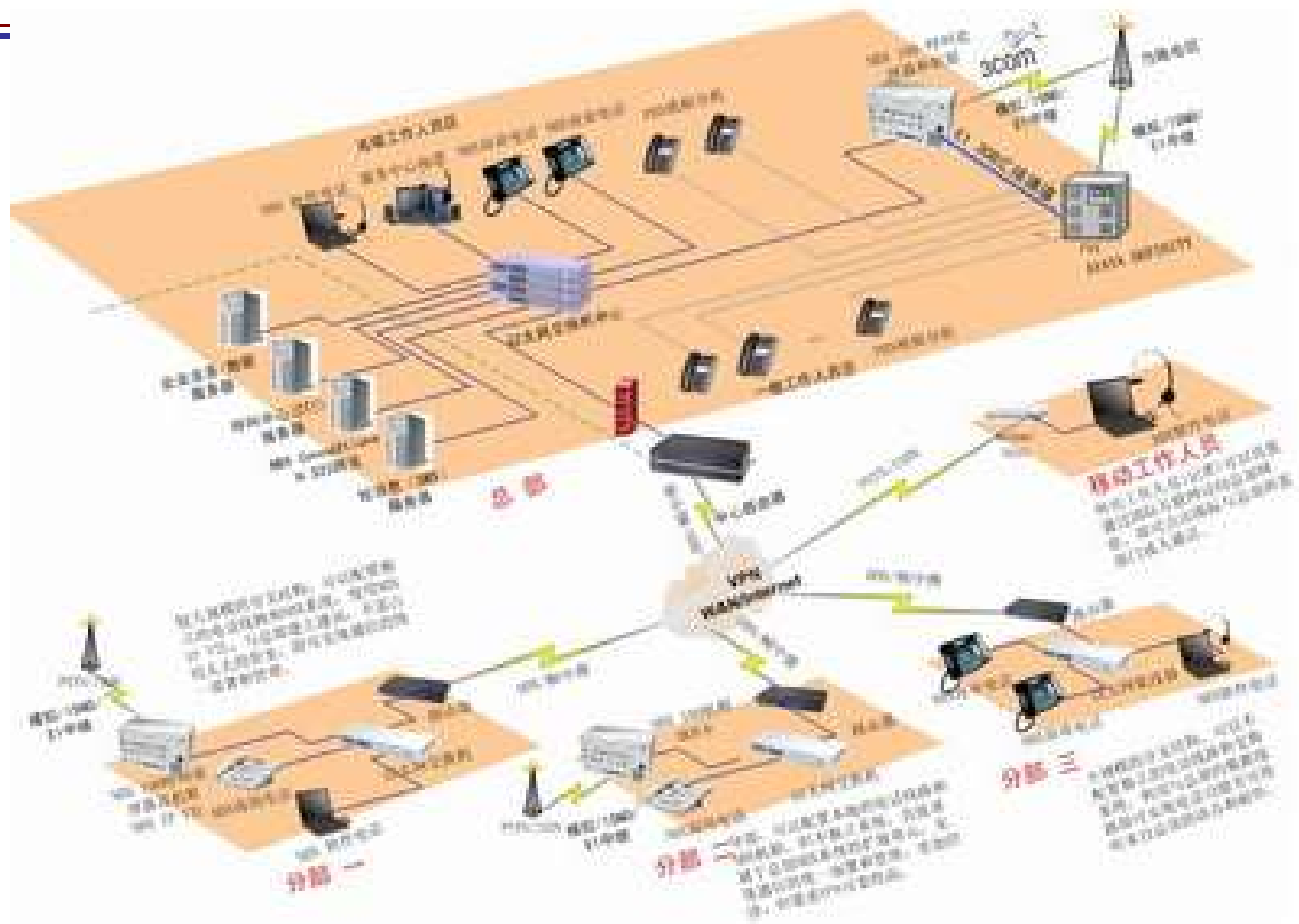
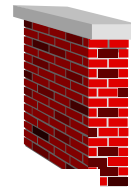


# 生产制造过程的控制与运行管理

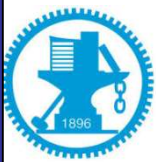




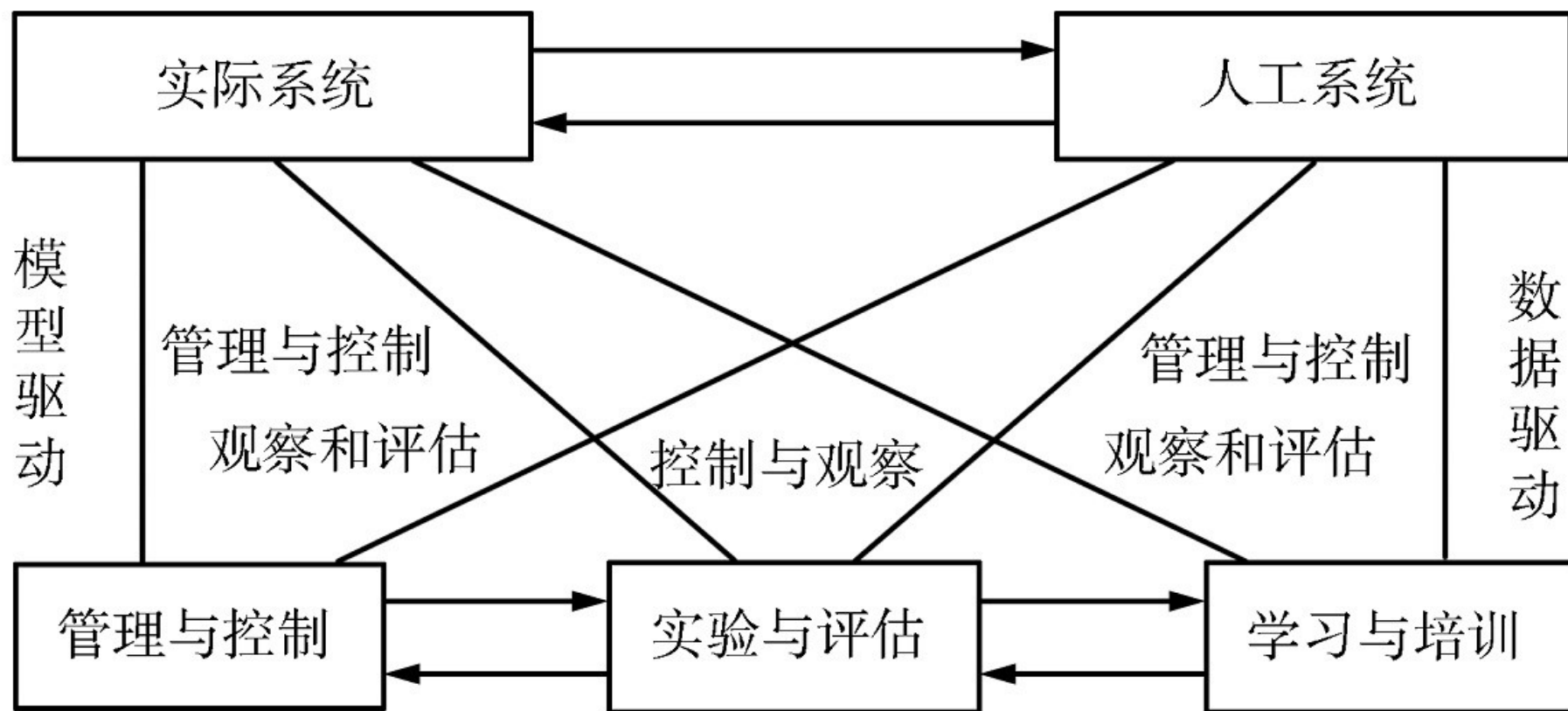
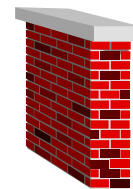
# 网络系统集成解决方案







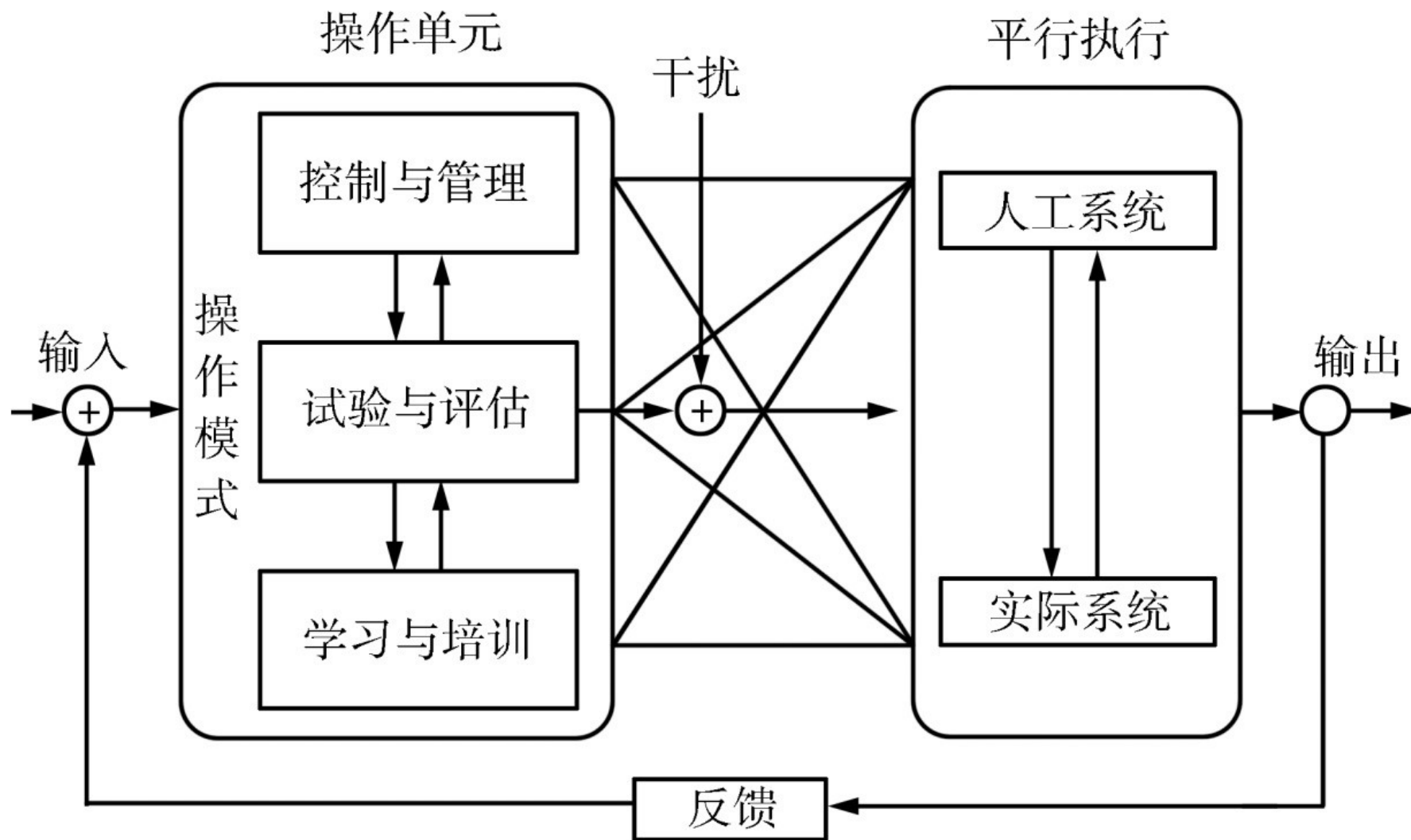
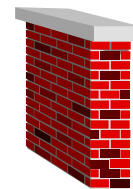
# 平行系统





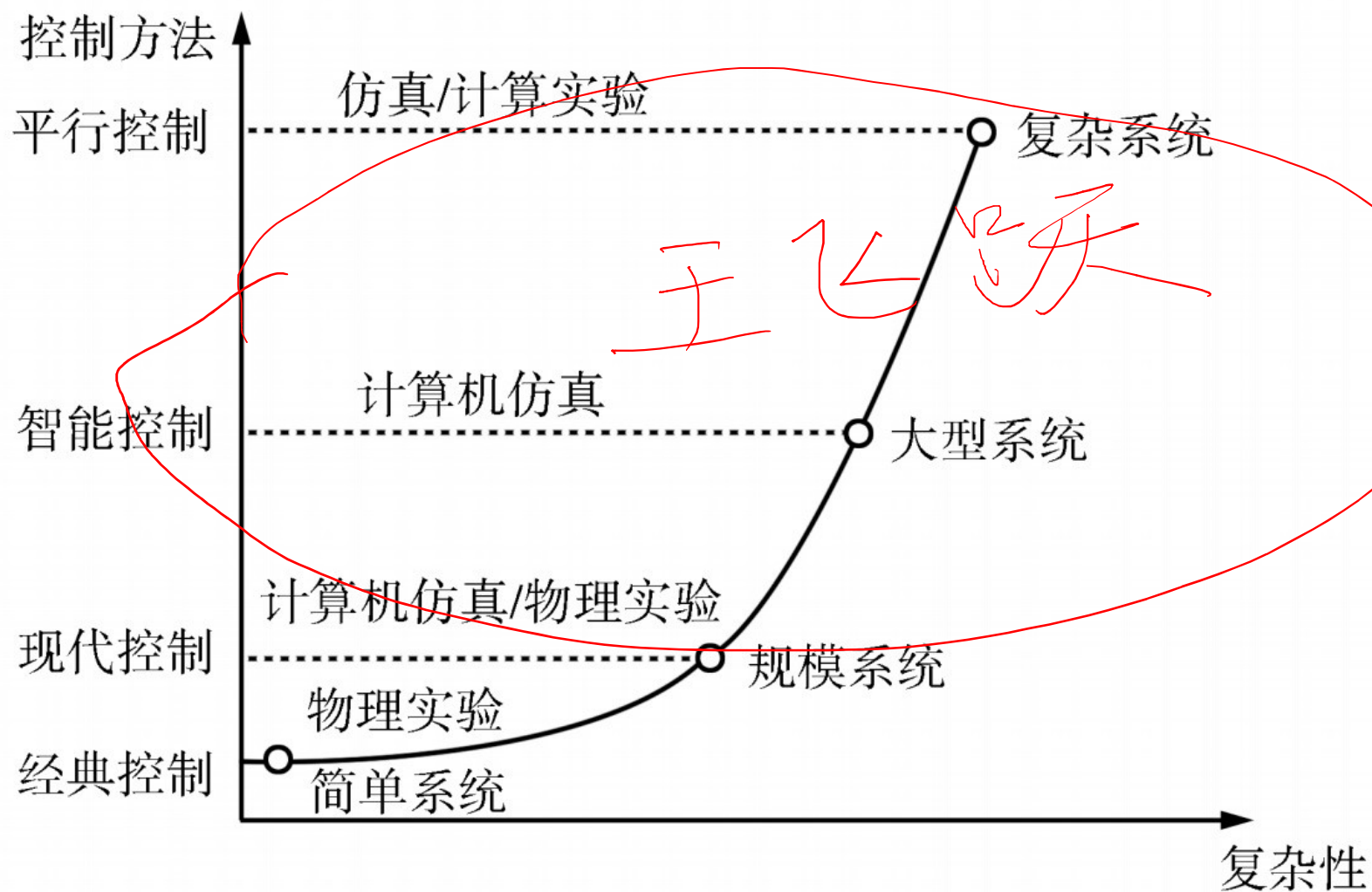
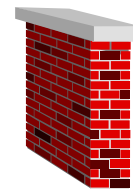


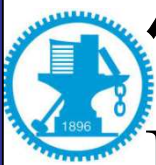
# 平行控制系统



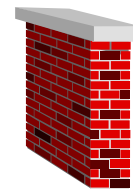


# 控制方式与复杂系统





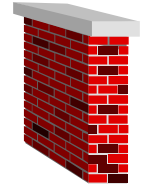
# 信息物理融合系统（CPS-Cyber-Physical System）



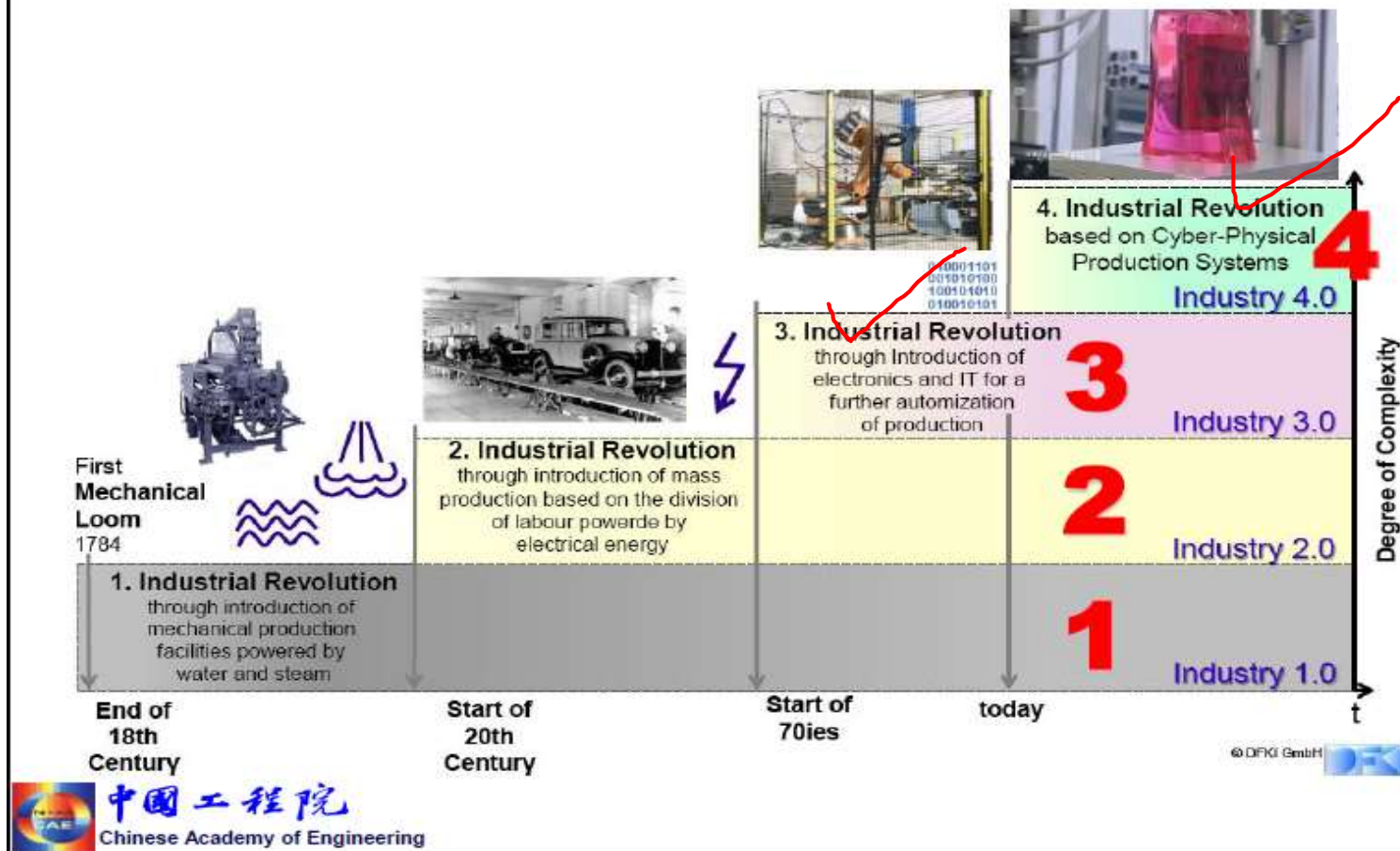
- 一个综合计算、网络和物理环境的多维复杂系统。
- 3C（Computation、Communication、Control）技术的有机融合与深度协作。
- 实现大型工程系统的实时感知、动态控制和信息服务。
- 国民经济重要基础设施
  - ▣ 政府、交通、电力、通信、金融等
- 第四次工业革命的基础。

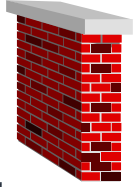


# 德国工业发展战略-“工业4.0”



## 从第一次工业革命到第四次工业革命





Systems Engineering\_百度 x Journal: Systems Engineeri x

https://onlinelibrary.wiley.com/

最常访问 火狐官方网站 新手上路 常用网址 新建书签 Resolve a DOI Name

Access by Xian Jiao Tong University

**Wiley Online Library**

☐ **Systems of systems: From mission definition to architecture description**

Imane Cherfa, Nicolas Belloir, Salah Sadou, Régis Fleurquin, Djamal Bennouar

Systems Engineering | Volume 22, Issue 6

First published: 11 November 2019

[Abstract](#) ▾

EDITORIAL [Full Access](#)

☐ **Special issue on system of systems engineering**

Franck Davoine, Éric Bonjour

Systems Engineering | Volume 22, Issue 6

First published: 11 November 2019

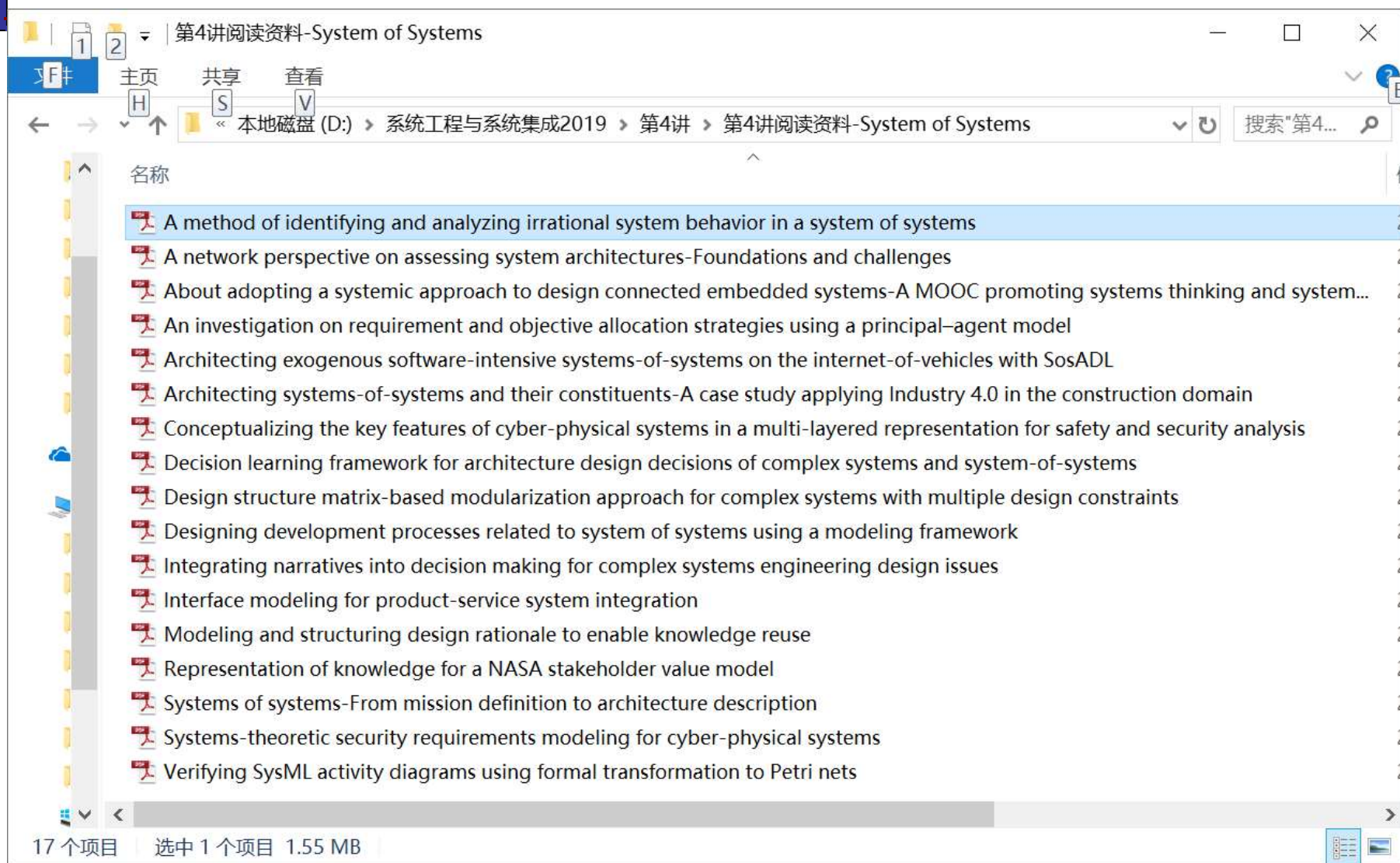
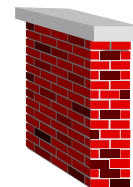
REGULAR PAPER [Full Access](#)

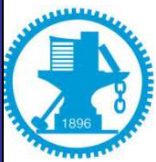
☐ **Decision learning framework for architecture design decisions of complex systems and system-of-systems**



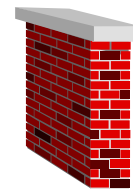


# 资料阅读（续）





# 作业



- 举例说明业务集成、模型集成和算法集成的方法及其挑战。
- 举例说明“平行系统”和“信息与物理融合系统”的应用领域。
- 结合**80**年代末以及当期制造业全球竞争格局的两次变革论述**CIMS**和工业**4.0**（中国制造**2025**）为中国制造业发展带来的挑战与机遇。
- 结合当前典型案例，分析商业模式在系统设计开发/产品研发/创业成功中的重要作用。
- 一种家庭服务机器人与战场机器人总体设计（第**3**讲作业）。