

# 第二讲 系统工程方法论

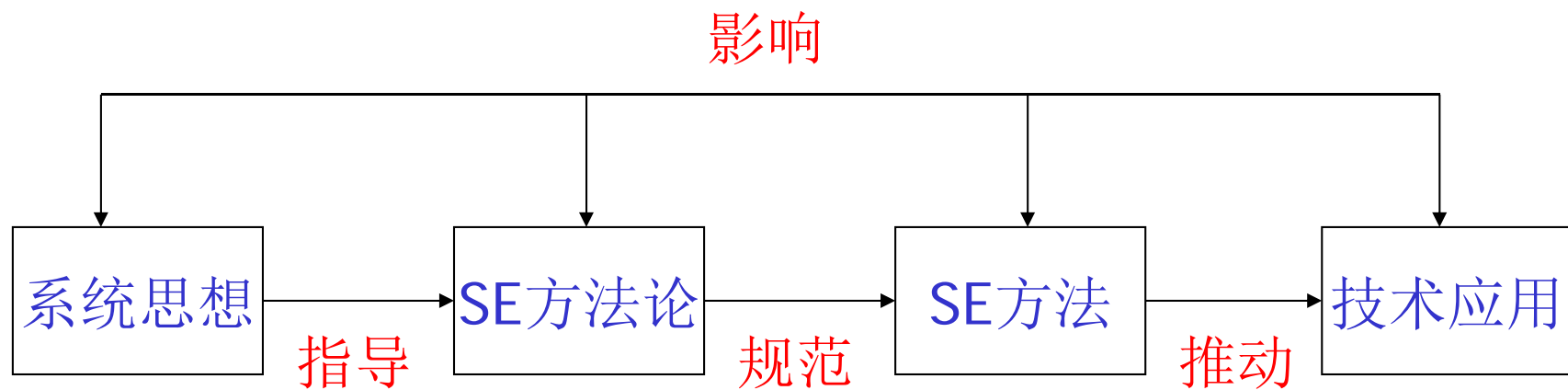
邓乾旺 教授、博导

湖南大学机械与运载工程学院  
工业工程专业责任教授

Email: [deng\\_arbeit@163.com](mailto:deng_arbeit@163.com)      Tel: 13687361286

## 2.1 SE方法论基本概念

**SE方法论**，是指用于解决复杂系统问题的一般程序、逻辑步骤和通用方法。其**特点**是从系统思想和观点出发，把分析对象看作为一个整体系统，在此基础上进行分析、设计、制造和使用。



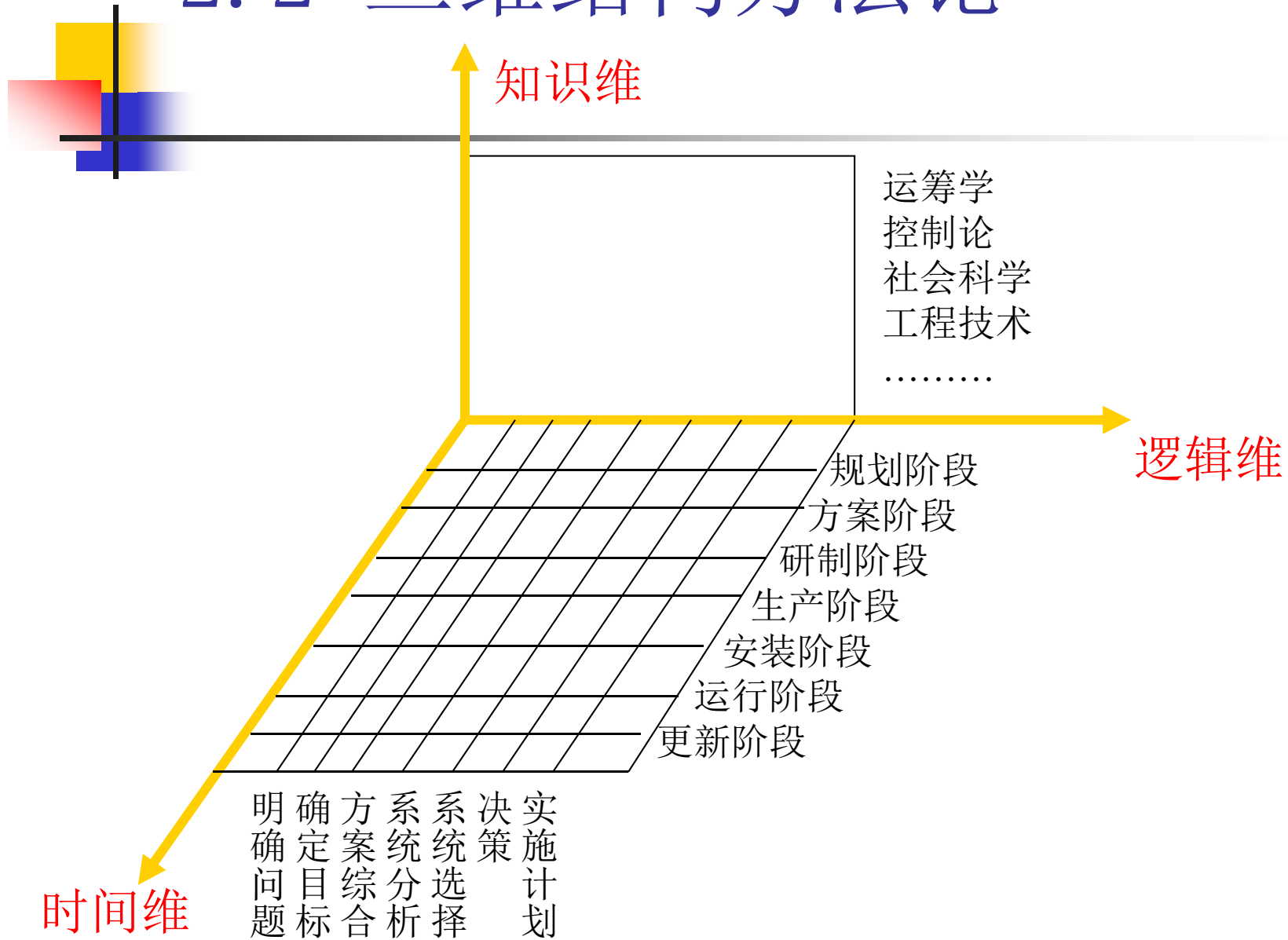


# SE代表性方法论：

---

- Hall的三维结构方法论
- Checkland方法论
- Rand公司为代表的系统分析方法论

## 2.2 三维结构方法论





## 一) 时间维

---

表示系统从规划到更新，从开始→结束按时间顺序排列的全过程，反映了系统的生命周期循环过程。

- ✚ 规划阶段：调研、明确目标
- ✚ 方案阶段：比较分析方案，择优
- ✚ 研制阶段：实现方案，作生产计划
- ✚ 生产阶段：零部件生产
- ✚ 安装阶段：安装
- ✚ 运行阶段：运行
- ✚ 更新阶段：评价→改进和更新



## 二) 逻辑维

---

每个阶段内所要进行的工作内容和遵循的思维程序。

**明确问题：**收集资料(考察、测量、调研、需求分析、市场预测)

了解系统的环境、目的、系统的各组成部分及其联系等。



# 问题的设定:

---

- ❖ **直观经验方法**: 头脑风暴法
- ❖ **预测法**: 德尔菲法、情景分析法、交叉影响法、时间序列法
- ❖ **结构模型法**: 解释结构模型法 (ISM)、决策实验室法、图论法
- ❖ **多变量统计方法**: 非结构、半结构问题, 因子分析、主成分分析法



## 确定目标：提出目标，制定准则(标准)

选择目标过程一般使用价值体系方法：

- ❖ 效用理论
- ❖ 费用—效益分析：经济系统
- ❖ 风险估计
- ❖ 价值工程

方案综合：方案策略，对每种方案进行说明

系统分析：系统比较分析各方案→建模→计算或仿真



## 系统分析主要内容:

- ❖ 系统变量的选择: 状态变量、决策变量(内生、外生)

- ❖ 建模和仿真: GPSS、SD

- ❖ 可靠性工程

- ✚ **系统选择**: 选出待选方案集, 交决策部门。  
(最优化)

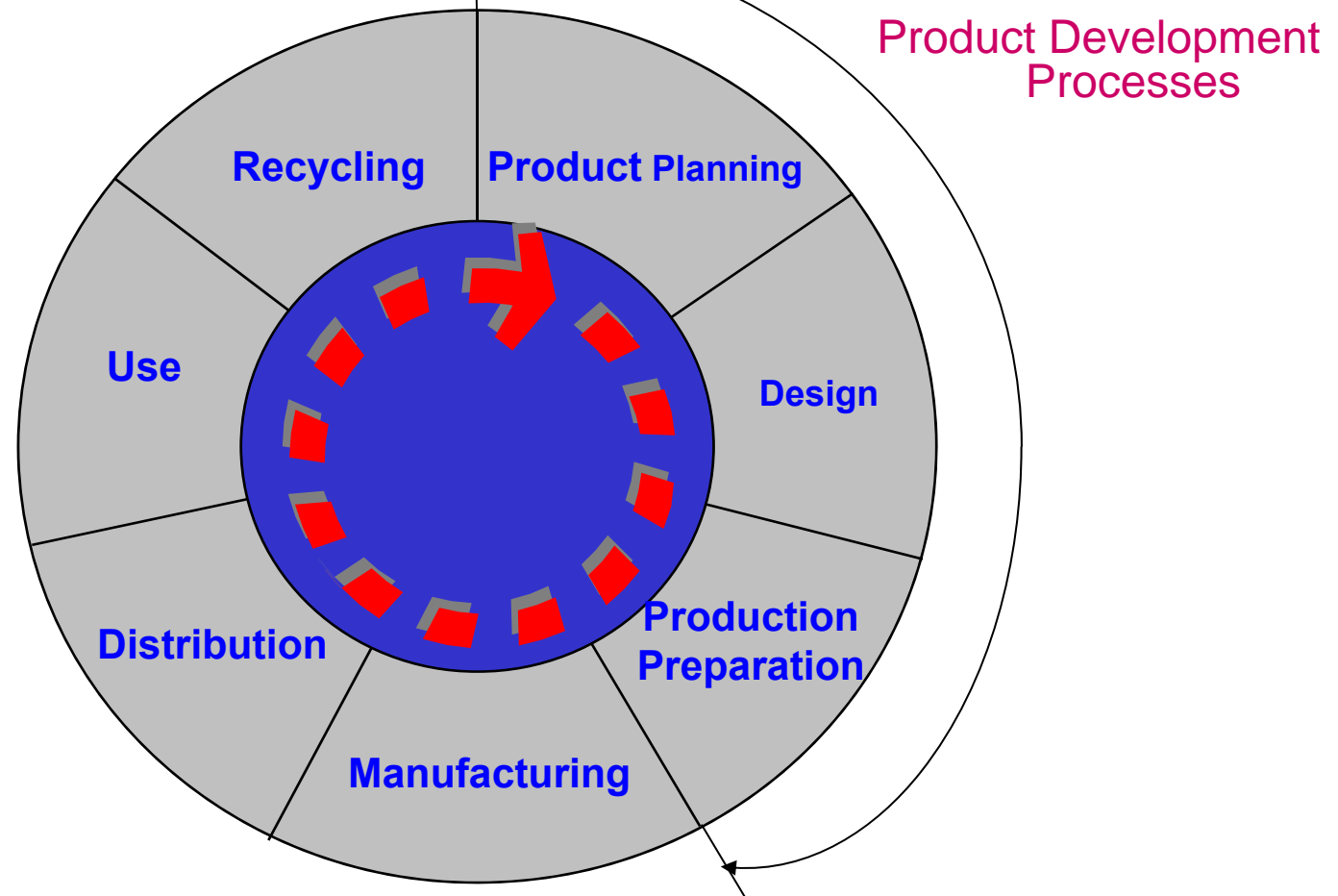
- ✚ **决策**: 不能十全十美, 要考虑人、社会各种因素

- ✚ **实施计划**:

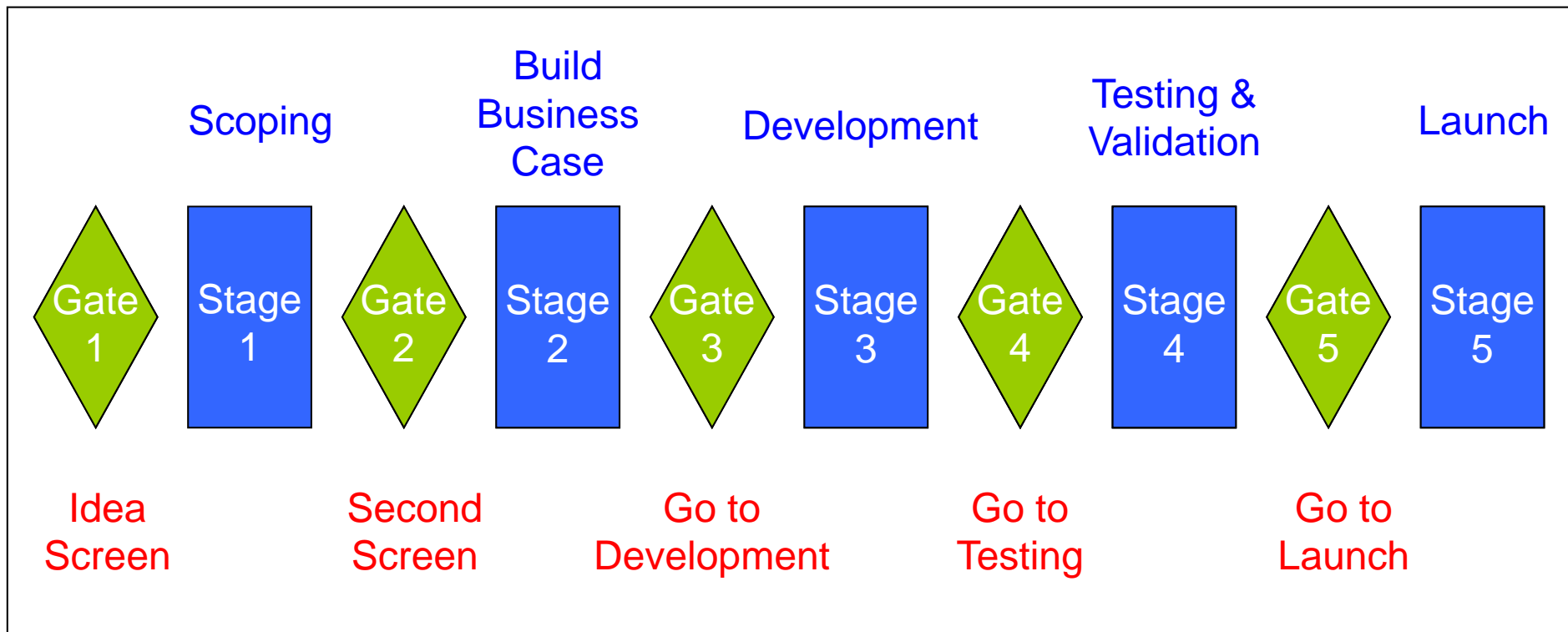
# 系统工程活动矩阵

逻辑维 时间维	1 明确问题	2 确定目标	3 方案综合	4 系统分析	5 系统选择	6 决策	7 实施计划
规划阶段	$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$	$a_{14}$	$a_{15}$	$a_{16}$	$a_{17}$
方案阶段	$a_{21}$	$a_{22}$	$a_{23}$	$a_{24}$	$a_{25}$	$a_{26}$	$a_{27}$
研制阶段	$a_{31}$	$a_{32}$	$a_{33}$	$a_{34}$	$a_{35}$	$a_{36}$	$a_{37}$
生产阶段	$a_{41}$	$a_{42}$	$a_{43}$	$a_{44}$	$a_{45}$	$a_{46}$	$a_{47}$
安装阶段	$a_{51}$	$a_{52}$	$a_{53}$	$a_{54}$	$a_{55}$	$a_{56}$	$a_{57}$
运行阶段	$a_{61}$	$a_{62}$	$a_{63}$	$a_{64}$	$a_{65}$	$a_{66}$	$a_{67}$
更新阶段	$a_{71}$	$a_{72}$	$a_{73}$	$a_{74}$	$a_{75}$	$a_{76}$	$a_{77}$

# Product Lifecycle



# Stage-Gate Model (Cooper, 2006)

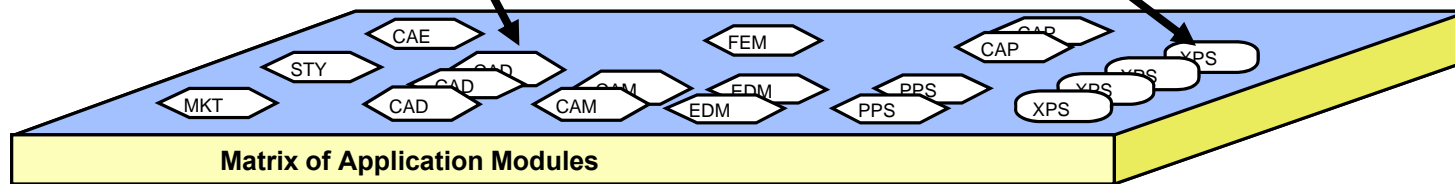
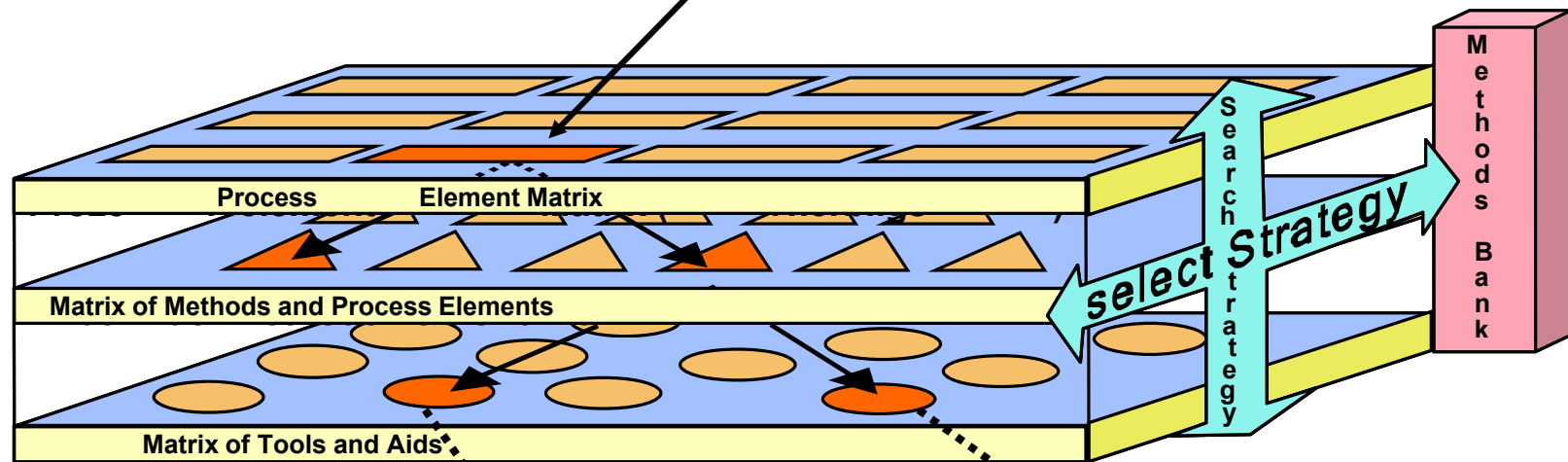
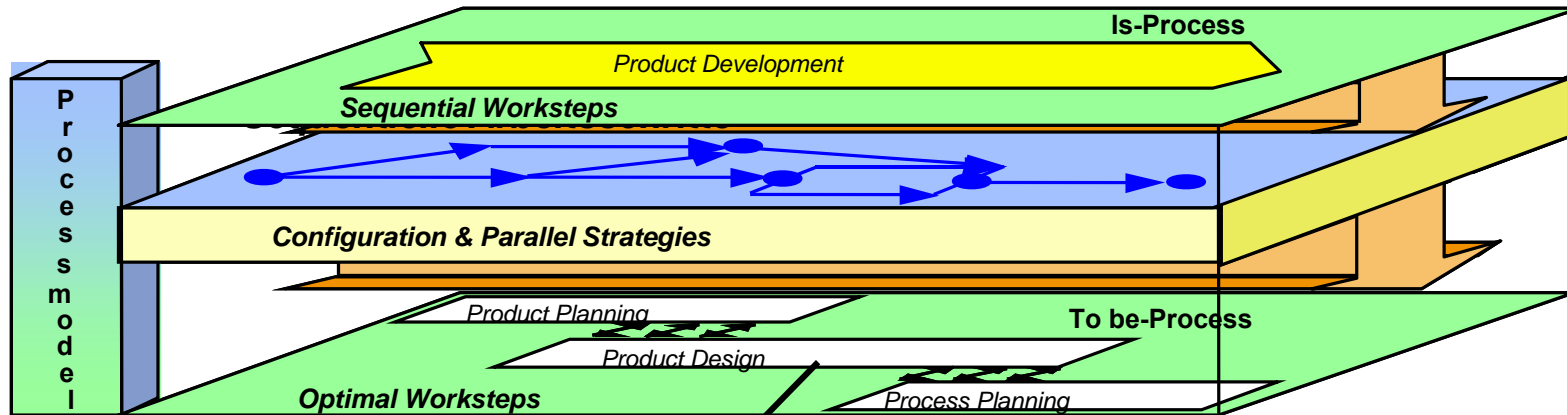




### 三) 知识维

---

知识维是指在完成上述各种步骤所需要的各种专业知识和管理知识，包括科学学、基础科学、工程技术、环境科学、计算机技术、数学、经济学、法律、管理科学和其它相关社会科学等。



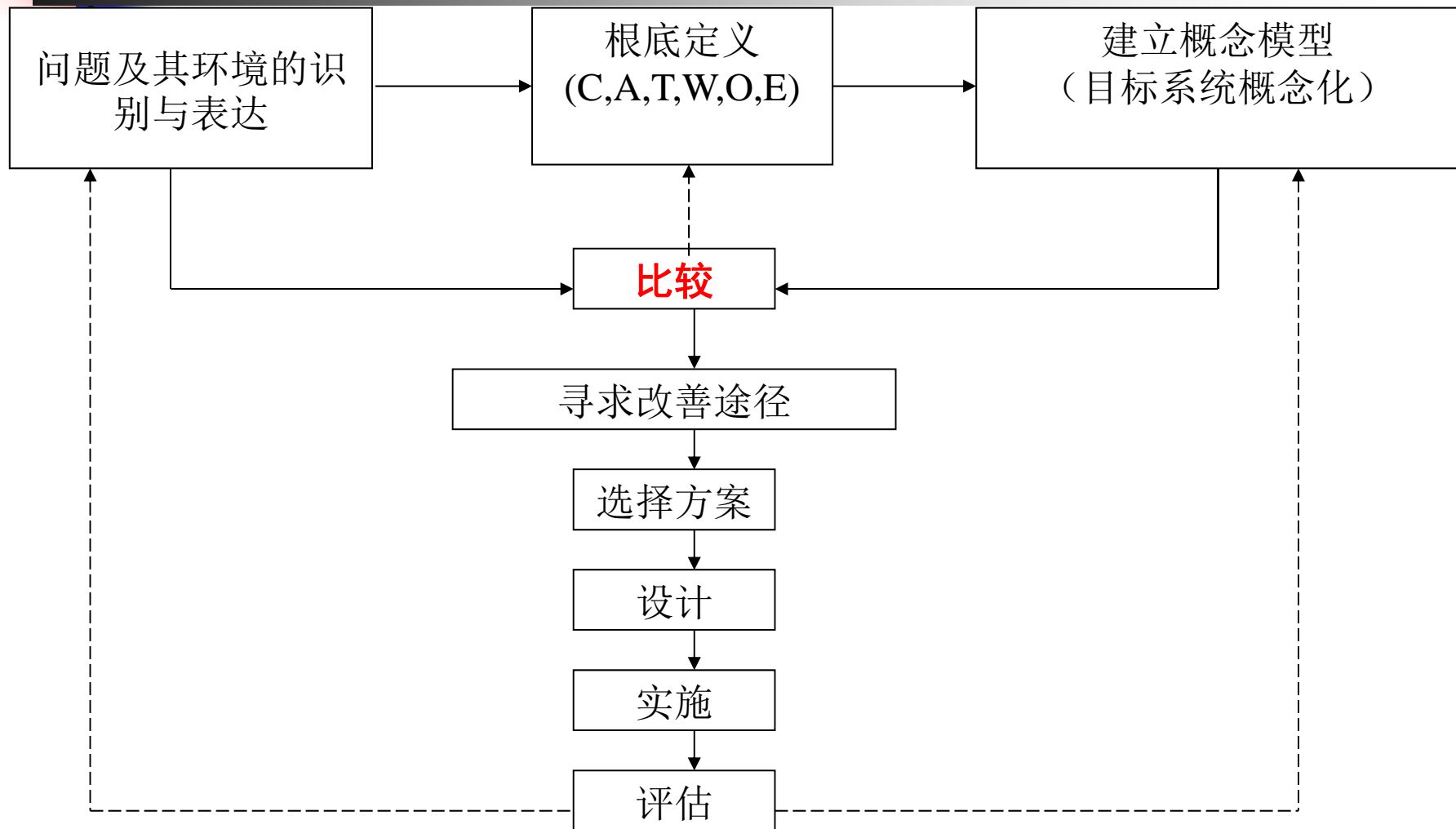


## 小结

---

霍尔三维结构方法论认为现实问题基本上都可归纳成工程系统问题，因此强调**明确目标**；核心内容是**模型化**和**最优化**，应用定量分析手段，求得最优解答。霍尔三维结构集中体现了系统工程方法的**系统化、综合化、最优化、程序化和标准化**等特点。

## 2.3 Checkland方法论





# 两种方法论的比较 (1)

	三维结构方法论	Checkland方法论
a	开始:要求解决一个相对明确的或认为是“给定的”问题	开始:感到有一个难以定义的问题情景并期望改善之
b	确定解决问题的目标及评价标准	通过考察“结构”和“过程”元素及其相互关系给出与问题情景相关的系统定义
c	拟定达到目标可能采取的方案, 制定模型, 进行综合研究	提出相关系统的根定义并据此构造系统的概念模型
d	选择能最好满足需要且可行的方案	把概念模型与现实进行比较, 并据此确定现实中合乎需要和可行的变革
e	实施设计好的系统	实施获得同意的变革



## 两种方法论的比较 (2)

相同点: 问题导向; 注重程序及阶段; ...

不同点: 研究对象; 基本方法; 核心内容; ...

	三维结构方法论	Checkland方法论
研究对象	工程系统	软系统
处理的问题	明确, 良结构	不明确, 不良结构
基本方法	关注定量分析	概念模型, 定性方法
核心内容	最优化	比较学习



## 2.4 系统分析(SA)

---

SA是在对系统**问题**现状及**目标**充分挖掘的基础上，运用**建模**及预测、优化、仿真、**评价**等方法，对系统的有关方面进行定性与定量相结合的分析，为**决策者**选择满意的系统**方案**提供决策依据的分析过程。

SA是SE的核心内容、分析过程和基本方法。

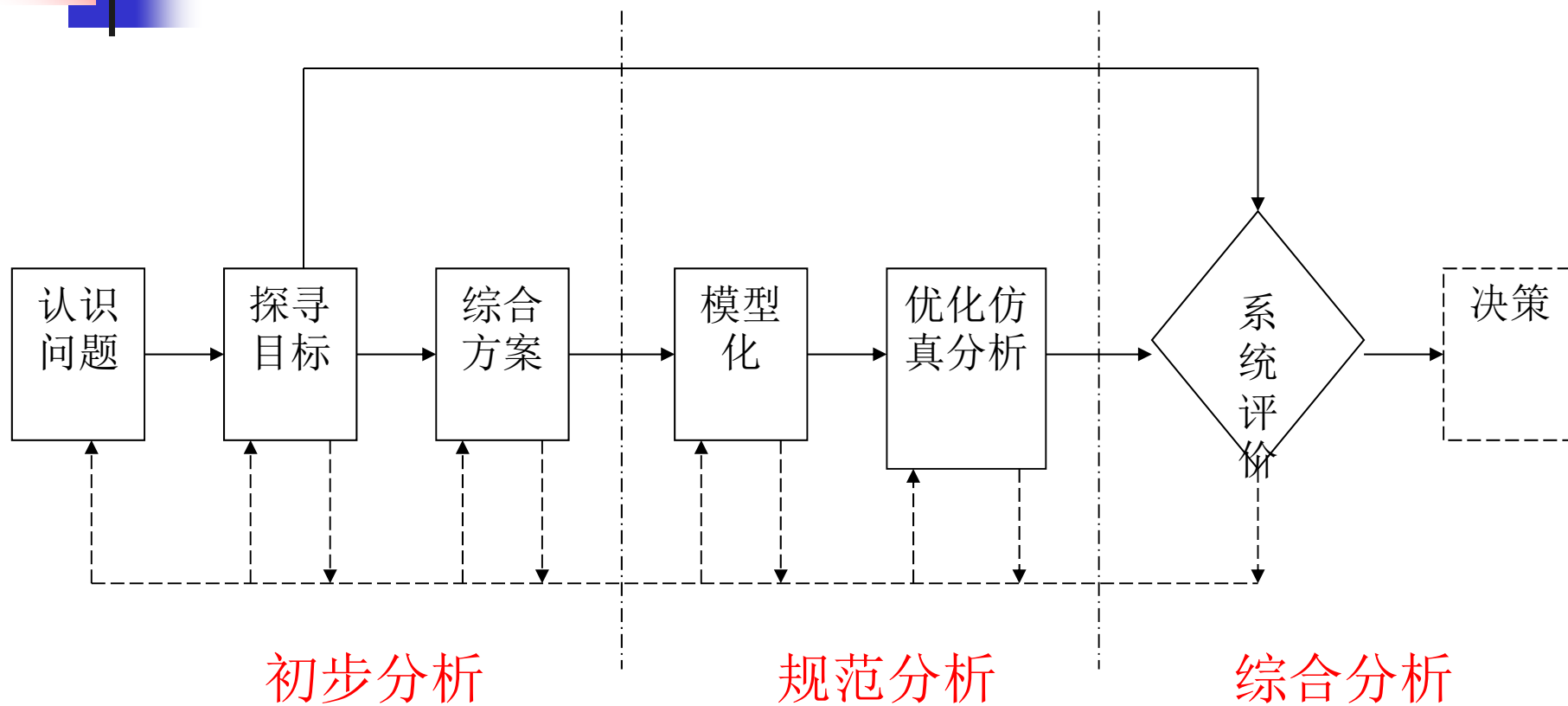


# SA要素

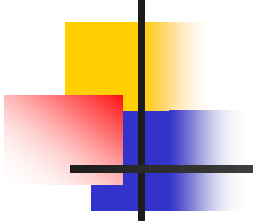
---

- 问题
- 目的及目标
- 方案
- 模型(结构、数学、仿真)
- 评价
- 决策者

# SA程序



系统分析的基本过程



SA程序图是SA的一般过程，也为全课程提供了基本的逻辑框架，因而十分重要，在对其理解和应用上应注意以下各点：

➤重视做好初步SA

5W1H (what/why/when/where/who/how)

方法是做好这段工作的基本线索

➤在规范分析中一般需（或尽可能）建立结构模型、数学模型或仿真模型

▶ 每段结束后系统方案的变化轨迹是可行方案—非劣方案—经排序的非劣方案（或称选择性方案）

▶ **环境分析**贯穿SA全过程，在SA中是十分重要的必不可少的。  
**首先**，在认识问题阶段，只有正确区分出各种环境要素，才能划定系统边界；**第二**，在探寻目标阶段，要根据环境对系统的要求建立系统的目标结构，以求得系统对环境的最优和最大输出；**第三**，在综合方案阶段，要考虑到环境条件及其变化对方案可行性的影响，选择出能适应环境变化的切实可行的行动方案；**第四**，在模型化及其分析阶段，要充分而正确地考虑到各主要环境条件(如人、财、物、政策等)对系统优化的约束；**第五**，在评价与决策阶段，要通过灵敏度分析和风险分析等途径，“减少”环境变化对最佳决策方案的影响，提高政策与策略的相对稳定性和环境适应性。

▶ 在管理应用SA过程中，并不一定要（或能）遍历并完成每一个具体过程



# SA特点及原则

---

- ▶ 问题导向
- ▶ 以整体为目标
- ▶ 多方案模型分析和选优
- ▶ 定量分析与定性分析相结合
- ▶ 多次重复进行



# 应用实例1：某厂外购玻壳进厂入库 搬运路线的系统分析

物流管理是现场管理的主要内容，物流合理化被广泛地认为是企业利润的重要源泉。

某厂是一个生产彩色显像管的总厂，下设若干分厂。该厂建厂初期年产96万只37cm彩色显像管，现已能生产五种彩色显像管和37cm彩色显示器等六类产品，年产量约720万只。

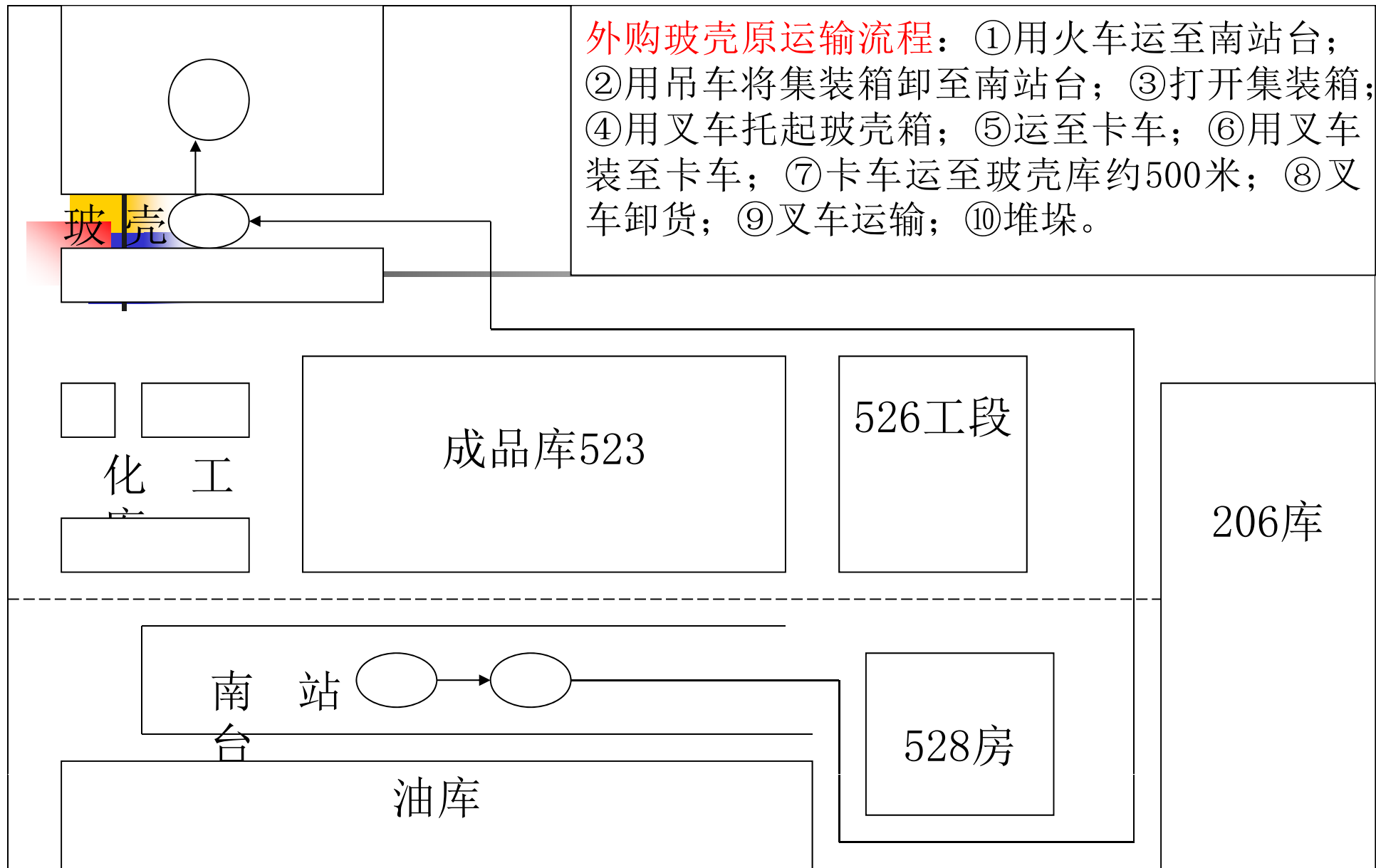
该厂所有生产用料不下千种，本着抓主要矛盾的原则，进行ABC分类，把需要量大、价值高的六类零部件列为A类物料，它们是：①玻壳(屏和锥)；②荫罩；③偏转线圈；④防爆带；⑤电子枪零件；⑥荧光粉。其中玻壳的搬运量最大，占总搬运量的一半以上。在此，仅对其外购玻壳进厂入库搬运路线进行分析。



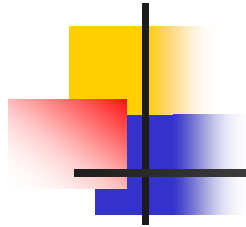
## (1) 外购玻壳进厂入库搬运路线现状分析

根据该厂的具体情况，对供应物流的研究可主要放在外购物料从进厂到完成检验后储存前的装卸、运输等过程。通过现场调查和对生产物流的分析，发现外购物料流动中存在的问题多、搬运量大的物料主要是外购玻壳(屏和锥)。

目前外购玻壳量非常大，主要(90%以上)靠火车运进总厂。玻壳从火车站运至玻壳库的流程如图所示，从中可以看出该物流存在如下问题：①搬运路线长，曲折迂回，汽车要绕过528房和526工段；②装卸次数多，从生产厂家到本厂库房共有八次装卸，而其中在本厂就有三次装卸；③经过厂内铁道线一次。汽车过206库左(西)边的铁道线时振动剧烈，对玻壳十分不利。



玻璃壳供应物流流程图



由于玻壳需要量大，易损坏，多次装卸和振动导致破损率增大。根据调查，锥的平均破损率已达到3%，最高时竟为5%。

当前成品外销主要是靠汽车运出，火车运出量很小，这与批量小且铁路运输欠简便有关。

在成品储存方面，除使用总厂内的库房外，还在厂外租借库房。单从销售物流自身考虑其物流基本合理。

## (2) 改进方案的建立

### ■ 方案1：将玻壳的卸货站台放在北站台。

改用北站台后，玻壳供应物流流程为：①用火车运至北站台；②用吊车将集装箱堆放在站台；③将集装箱拆开；④用叉车取货；⑤运至玻壳库(距离约100m)；⑥堆垛。

与现行操作相比，本方案减少四次作业，包括二次运输和二次装卸，缩短运输距离400m，仅减少玻壳中锥破损一项每年可节约数百万元人民币。本方案不足之处是要改建站台，投资较大。

### ■ 方案2：同方案1将玻壳卸在北站台，将原有523成品库全部换成为外购玻壳库。

方案2的流程同方案1，但叉车运输路线进一步缩短至20m，甚至更短。但由于牵扯到不同部门，实现起来比较困难。但从长远来看，外购玻壳的做法不会发生大的变化。因此，对其物流供应路线和仓库进行改造是有价值的。

### ■ 方案3：外购玻壳与成品同用一个523库，当成品量增加时，可提示减少外购玻壳的量，防止库存量过大，反之亦然。然而，本方案要求销售公司和供应公司共用一个库，管理中难度较大。

### (3) 方案的评价

因素/指标	权重	评定及加权评定		
		方案1	方案2	方案3
1、物流及搬运经济性	0.25	3	5	4
2、投资少	0.20	3	4	4
3、便利服务	0.10	3	2	3
4、灵活性	0.15	3	3	2
5、易于管理	0.15	4	3	2
6、可操作性	0.15	4	3	3
合计	1.00	3.30	3.60	3.15



# 结论

---

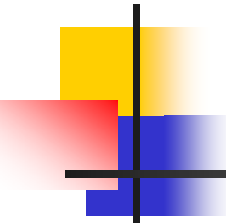
系统工程在企业现实中的应用基础是**调研和分析**。只有深入地调研和分析，才有可能发现其潜在的**问题**，并针对问题列出可行解(**方案**)，而列出可行方案需要创造性思维。其后，在初选的基础上，运用**系统分析**及其**评价**的方法排出方案的优先序，从而为管理者提供**决策**依据。



## 应用实例2：实行以优化控制为主线的系统分析与科学决策

前几年南方某酒厂在原材料、能源涨价及市场疲软的冲击下，濒临停产的困境。为此，企业的领导提出向决策要效益。他们从传统的决策思维模式中解脱出来，综合运用现代科学的管理技术，对企业生产经营过程实施以分析—优化—控制为主线的系统分析与科学决策，并经历了四个主要的阶段：

**(1)问题结构分析。**根据企业年计划利润70万元、产值585万元的原有目标，按生产、经营、财务、管理划成四大块分解展开。用统计分析和因素分析等方法发现原有计划生产的三大系列八个品种中，亏损产品元红、善酿和汗烧三个品种，占全部产品数的37%，亏损总额为50万元，占产品盈利额的46.4%，影响了利润计划的如期完成。初步分析表明，调整产品结构、优化生产计划乃是企业管理中面临的主要问题。



**(2) 要素与目标分析。**通过对产品市场需求、原材料和能源等资源的供给、国家政策、竞争者状况等环境因素的分析预测，和运用边际收益法对企业生产能力的分析，该企业决策者们将产品方向调整为：以发展黄酒为主体，增加瓶酒产量，控制白酒生产，并将提高黄酒产品结构效益作为优化的基本要求。

**(3) 优化分析。**为了达到产品利润最大目标，采用线性规划方法，根据加饭、元红、香雪、善酿四个品种的单位利润、原料、销售和产值等相应的约束条件，运用电子计算机，迭代解出达到产品利润最大的最优方案为：加饭700t、元红7600t、香雪140t、善酿40t。

**(4) 方案调整。**为了完成下半年预定的增益指标40万元，并考虑到实际的企业能力、市场需求及其变化，对上一阶段建立在优化分析基础上的计划方案进行调整，增加了瓶酒的产量。对生产计划的科学调整，使企业开始取得明显的经营效果和经济效益。



# 结论

---

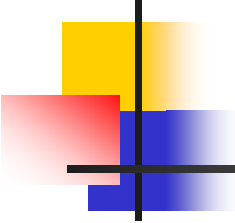
该厂成功之处，在于根据情况的变化，不断用系统思想和系统分析方法调整和优化经营决策。该案例注意以实际问题为导向，综合使用多种分析方法。整个分析过程从大到小，先粗后细，分析与决策程序具有科学性和普遍适用性。



## 应用实例3：运用系统分析原理控制污染物排放

---

位于某著名旅游城市市郊的某火力发电厂曾面临一个棘手的问题，即如何减少烟囱排放的烟尘与SO<sub>2</sub>量，使风景胜地的环境得到综合治理。为此，运用系统分析原理，找到了投资少、见效快的最佳治理方案，取得了明显的经济、社会效益。其具体做法可归纳为如下主要步骤：

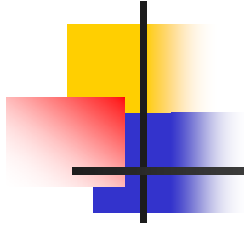


## (1) 系统调查与初步设计

- 首先是获取城市的基本情况和气象数据，以及电厂的机组、锅炉等设备的主要技术参数等**资料**。分析污染物在电厂内的迁移过程(燃料、锅炉、除尘器、烟囱、排放)及所用燃煤的化学成分等。
- 其次是**建立计算机模拟模型**，模拟发电厂烟尘排放的烟尘与SO<sub>2</sub>量。模拟结果表明，烟尘模拟值823.1kg/h，是国家标准170kg/h的4.84倍；SO<sub>2</sub>模拟值1844kg/h，是国家标准的10.85倍。

## (2) 方案综合及评估

- **方案A:** 修建一座高烟囱。把原来45m高的烟囱改为120m高。模拟分析显示, 可使污染物排放控制在国家标准之内。该方案需要投资22万元。另外, 该高度的烟囱对附近的机场营运有一定影响。
- **方案B:** 改用电除尘器。将原来的多管旋风除尘器改为新型的电除尘器。模拟分析结果表明, 可使烟囱排放量从823.1kg/h降至132.8kg/h, 再用预洗等方法可降低SO<sub>2</sub>排放量。购买电尘器的投资约需70万元以上。
- **方案C:** 改换锅炉。投资200万元购买2台75t的锅炉, 这样可以减少污染物的排放, 但由于燃烧效率降低, 会带来每年11.76万元的经济损失。
- **方案D:** 改用优质煤。将原用煤改为新煤种。模拟分析表明, 可使烟尘排放量降至85.53kg/h, SO<sub>2</sub>排放量降至129.7kg/h, 均低于国家标准。如若政策有利, 基本上可不增加太多的燃料费用。



**(3) 系统决定。** 经过模拟研究、经济分析和综合评价(过程略)，选择近期防治对策中的最佳方案为方案D，即改用优质煤。从远期考虑，可在方案D的基础上逐步采用烧油的方案，以进一步减少水污染。

**结论：** 本案例利用计算机模拟手段，以对系统方案的技术分析为基础，并把技术与经济评价紧密地结合起来。



# 系统分析原理的应用问题

---

- 应用领域广泛
- 对系统分析的技术方法具有指导作用(在后面章节具体说明)
- 充分发挥系统分析小组的作用(4人左右)
  - 问题应尽可能具体,且贴近实际
  - 注意对多目标和多方案的挖掘,并以此来检验问题
  - 首先注重SA原理框架的应用



## 2.5 创新思维与方案创新技术

---

1、创新方案的价值

2、系统工程与创新思维

3、创新方案的产生技术

提问法（5W1H、检核表法）、头脑风暴法、德尔菲法、群体决策支持系统、情景分析法

4、系统创新思维辅助工具  
(**Mindmanagement**)



# 小结

---

- 霍尔三维结构方法论
- Checkland方法论
- 系统分析方法论



# 思考讨论题

---

- 1、什么是霍尔三维结构?它有何特点?
- 2、霍尔三维结构与切克兰德方法论有何异同点?
- 3、什么是系统分析?它与系统工程关系如何?
- 4、系统分析的要素有哪些?各自是何含义?
- 5、你如何正确理解系统分析的程序?
- 6、初步系统分析有何意义?如何做好这项工作?
- 8、请通过一实例,说明应用系统分析的原理。