



中南大学
CENTRAL SOUTH UNIVERSITY



矿业系统工程

中南大学

资源与安全工程学院

采矿工程系 杨珊 副教授/博导



第二章 系统工程方法论

第二章 系统工程方法论

本章学习的重难点

- 霍尔三维结构
- 切克兰德方法论
- 系统分析原理
- 创新分析方法

第二章 系统工程方法论

系统工程方法论就是分析和解决系统开发、运作及管理实践中的问题所应遵循的**工作程序**、**逻辑步骤**和**基本方法**，是系统工程思考问题和处理问题的一般方法与总体框架。

系统工程方法论的特点：

- 研究方法强调整体性
- 技术应用强调综合性
- 管理决策强调科学性

第二章 系统工程方法论

第一节 系统工程的基本工作过程

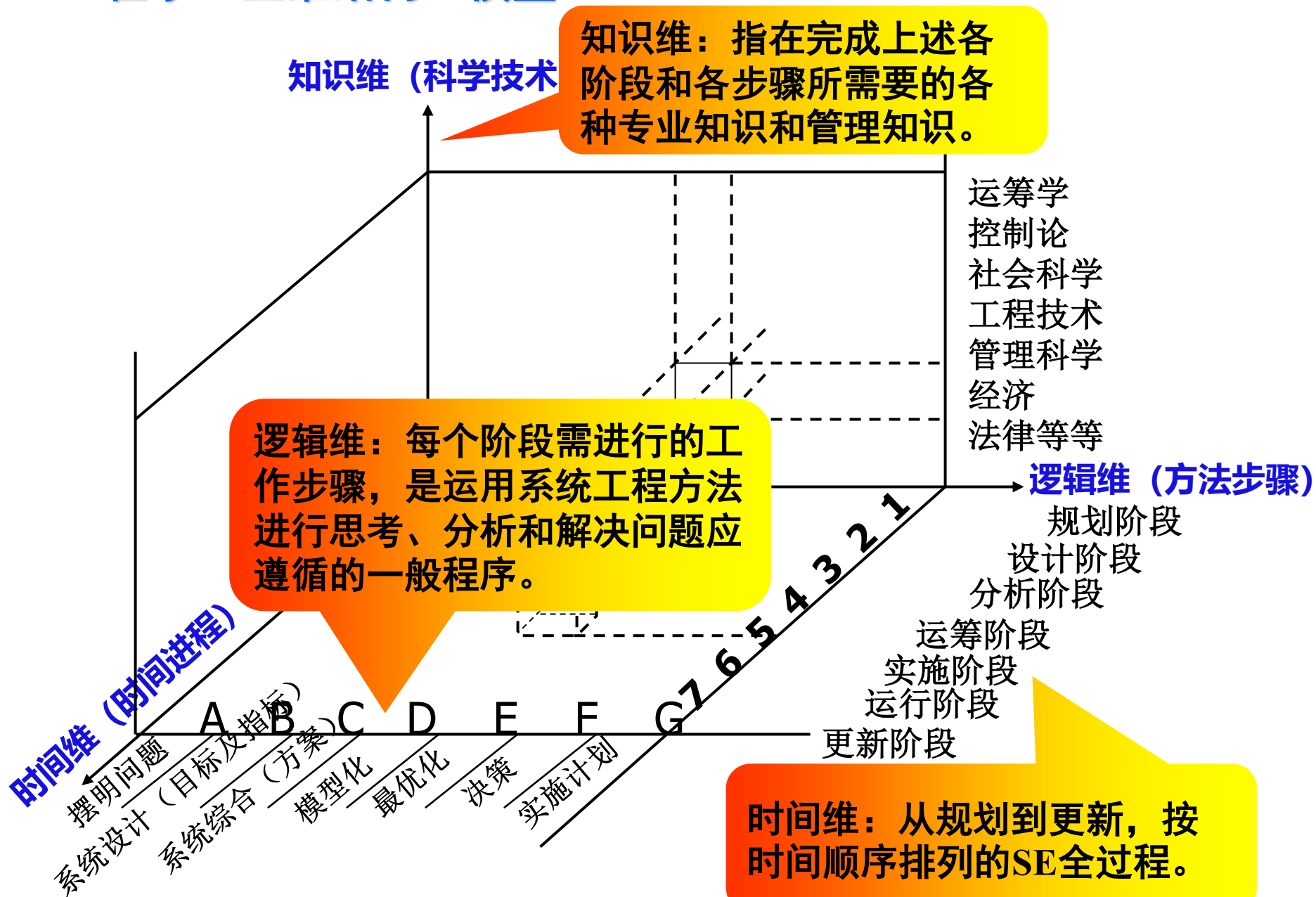
第二节 系统工程的基本方法

1. 系统工程的基本工作过程

■ 霍尔三维结构

- 霍尔三维结构是在1969年由美国学者A.D.霍尔(A. D.Hall)等人在大量工程实践的基础上提出的。
- 霍尔三维结构的内容反映在可以直观展示系统工程各项工作内容的三维结构图中。三维结构由时间维、逻辑维、知识维组成。
- 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，是系统工程方法论的重要基础内容。

■ 霍尔“三维结构”模型



1. 系统工程的基本工作过程 - 霍尔三维结构

■ 时间维

时间维表示系统工程的工作阶段或进程。系统工程工作从规划到更新的整个过程或生命周期可分为以下七个阶段：

(1) **规划阶段**。研究和确定系统工程活动的目的、目标和要求以及探索系统工程活动的政策或者规划。

(2) **设计阶段**。提出具体的计划方案。

(3) **分析或研制阶段**。实现系统的研制方案，作出生产计划。

1. 系统工程的基本工作过程 - 霍尔三维结构

■ 时间维

(4) 运筹或生产阶段。运筹各类资源及生产系统所需要的全部“零部件”，提出具体详细的实施和“安装”计划。

(5) 系统实施或“安装”阶段。把系统“安装”好，制定出具体的运行计划。

(6) 运行阶段。系统按其预测功能用途运行、维护和管理。

(7) 更新阶段。改进或取消旧系统，建立新系统。

1. 系统工程的基本工作过程 - 霍尔三维结构

■ 逻辑维

逻辑维是指系统工程每阶段工作所应遵从的逻辑顺序和工作步骤，一般分为七个步骤。

(1) **摆明问题**。同提出任务的单位**交流**，明确要解决的问题及其要求，全面收集、了解待解决问题的历史、现状和发展趋势的资料。

(2) **系统设计**。确定待解问题的目标和建立评价目标的价值指标体系及标准。

(3) **系统综合**。设计能完成预定任务的系统结构，拟定政策、活动、控制方案和整个系统的可行方案。

1. 系统工程的基本工作过程 - 霍尔三维结构

■ 逻辑维

(4) **模型化**。针对系统的具体结构和方案类型建立分析模型，并初步分析系统各种方案的性能特点、预定任务能实现的程度以及在目标和评价指标体系下的优劣次序。

(5) **最优化**。在评价目标体系的基础上生成并选择各项政策、活动、控制方案和整个系统方案，尽可能达到最优、次优或合理，至少能令人满意。

(6) **系统决策**。在分析、优化和评价的基础上由**决策者**做出裁决，选定行动方案。

(7) **实施计划**。不断修改、完善以上6个步骤，制订出具体的执行计划和下一阶段工作。

1. 系统工程的基本工作过程 - 霍尔三维结构

■ 知识维

知识维或专业维是指从事系统工程师工作所需要的各种专业知识和理论方法。

如运筹学、控制论、管理科学等，也可反映系统工程的专门应用领域，如企业管理系统工程、社会经济系统工程、工程系统工程等。

1. 系统工程的基本工作过程 - 霍尔三维结构

霍尔三维结构强调明确目标，核心内容是最优化，并认为现实问题基本上都可归纳成工程系统问题，应用定量分析手段，求得最优解答。具有以下特点：

- 研究方法上的整体性(三维)
- 技术应用上的综合性(知识维)
- 组织管理上的科学性(时间维与逻辑维)
- 系统工程工作的问题导向性(逻辑维)

1. 系统工程的基本工作过程 - 霍尔三维结构

【案例】矿山深部开采方案设计（内容略）

- (1) 时间维：从矿山深部开采“规划研究”开始.....
- (2) 知识维：要求参加问题研究人员要有“**矿业工程、地质工程、机电工程、安全工程、管理科学、环境科学、工程经济、法律**”等方面的知识.....
- (3) 逻辑维：按照逻辑维要求开展研究工作，具体为“明确问题→系统指标分析→系统综合→系统分析→系统优化→系统决策→系统实施”。

1. 系统工程的基本工作过程 - 霍尔三维结构

霍尔管理矩阵

逻辑维（步骤） 时间维（阶段）	一明确问题	二系统设计	三系统综合	四系统分析	五方案优化	六作出决策	七付诸实施
1.规划阶段	a ₁₁	a ₁₂	a ₁₃	a ₁₄	a ₁₅	a ₁₆	a ₁₇
2.设计阶段	a ₂₁	a ₂₂	a ₂₃	a ₂₄	a ₂₅	a ₂₆	a ₂₇
3.研制阶段	a ₃₁	a ₃₂	a ₃₃	a ₃₄	a ₃₅	a ₃₆	a ₃₇
4.生产阶段	a ₄₁	a ₄₂	a ₄₃	a ₄₄	a ₄₅	a ₄₆	a ₄₇
5.实施阶段	a ₅₁	a ₅₂	a ₅₃	a ₅₄	a ₅₅	a ₅₆	a ₅₇
6.运行阶段	a ₆₁	a ₆₂	a ₆₃	a ₆₄	a ₆₅	a ₆₆	a ₆₇
7.更新阶段	a ₇₁	a ₇₂	a ₇₃	a ₇₄	a ₇₅	a ₇₆	a ₇₇

代表一项具体的管理活动

1. 系统工程的基本工作过程 - 霍尔三维结构

基于 “三维结构” 模型的系统工程过程系统

- 在过程系统中，每一阶段都有自己的管理内容和管理目标，每一步骤都有自己的管理手段和管理方法，彼此相互联系，与具体的管理对象组成一个**有机整体**。霍尔管理矩阵可以提醒在哪个阶段该做哪一步工作，同时明确各项具体工作在全局中的地位 and 作用，从而使工作得到合理安排。
- 把系统工程过程系统运用于大型工程项目，尤其是探索性强、技术复杂、投资大、周期长的“大科学”研究项目，可以减少决策上的失误和计划实施过程中的困难。
- 国内外许多项目表明，运用科学的系统工程过程系统管理方法，决策的可靠性可提高一倍以上，节约时间和总投资平均在**15%**以上，而用于管理的费用一般只占总投资的**3%~6%**。

1. 系统工程的基本工作过程 - 切克兰德方法论

系统可以分为硬系统和软系统。

- 硬系统偏重工程系统、机理明显的物理系统。硬系统便于观察，便于用数学模型描述，可以用现成的**定量方法**计算出系统的行为和最佳结果。
- 软系统偏重社会、机理，尚不清楚的生物型的软系统，难以用数学模型描述，只能**半定量、半定性**或者只能用**定性**的方法来处理。

用霍尔三维结构的方法处理软系统问题，存在局限性：

- ✓ 大部分管理问题目标不清楚，需要研究、定义；
- ✓ 霍尔系统工程方法针对硬系统，没考虑人的作用，忽视人的主观认识；
- ✓ 实际中很多问题无法建立模型。

1. 系统工程的基本工作过程 - 切克兰德方法论

- 处理软系统的方法有很多，如专家调查法（德尔菲法）、情景分析法、冲突分析法等。
- 但从系统工程方法论角度看，80年代中前期英国学者切克兰德（P.B.Checkland）提出的“调查学习”方法比较系统且具有代表性。切克兰德的“调查学习”软系统方法的核心不是寻求“最优化”，而是“调查、比较”或者说是“学习”，从现状调查和模型比较中，学习改善现存系统的途径。

1. 系统工程的基本工作过程

■ 切克兰德方法论

(1) **认识问题**：收集与问题有关的信息，表达问题现状，寻找构成或影响因素及其关系，以便明确系统问题的结构、现存过程及其相互之间的不适应之处，确定有关的行为主体和利益主体。

(2) **根底定义**：**根底定义是该方法中较具特色的阶段**。其目的是弄清系统问题的**关键要素**，为系统的发展及其研究确立各种基本的看法，并尽可能地选择**最合适的基本观点**。**根底定义所确立的观点要能经得起实际问题的检验**。

(3) **建立概念模型**：概念模型是来自于根底定义、通过系统化语言对问题抽象描述的结果，其结构及要素必须符合根底定义的思想，并能实现其要求。

1. 系统工程的基本工作过程

■ 切克兰德方法论

(4) 比较及探寻：将第一步所明确的现实问题和第三步所建立的概念模型进行对比。需要注意的是，有时也要结合比较的结果，对根底定义的结果进行适当修正。

(5) 选择：根据比较的结果，结合有关人员的态度及其它社会、行为等因素，选择现实可行的改善方案。

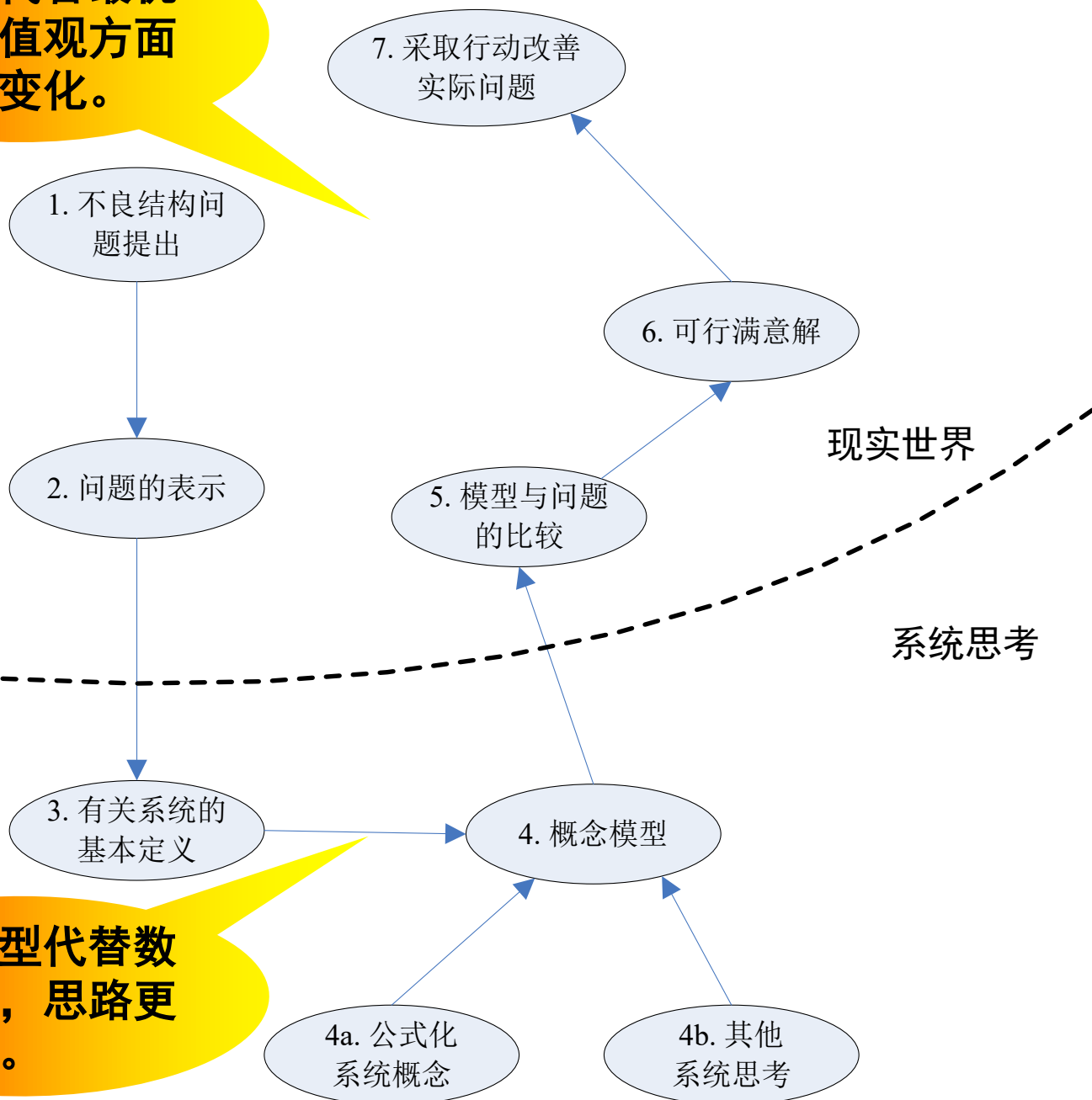
(6) 设计与实施：通过详尽和有针对性的设计，形成具有可操作性的方案，并使得有关人员乐于接受和愿意为方案的实现竭尽全力。

(7) 评估与反馈：根据在实施过程中获得的新认识，修正问题描述、根底定义及概念模型等。

满意解代替最优解，价值观方面的重要变化。

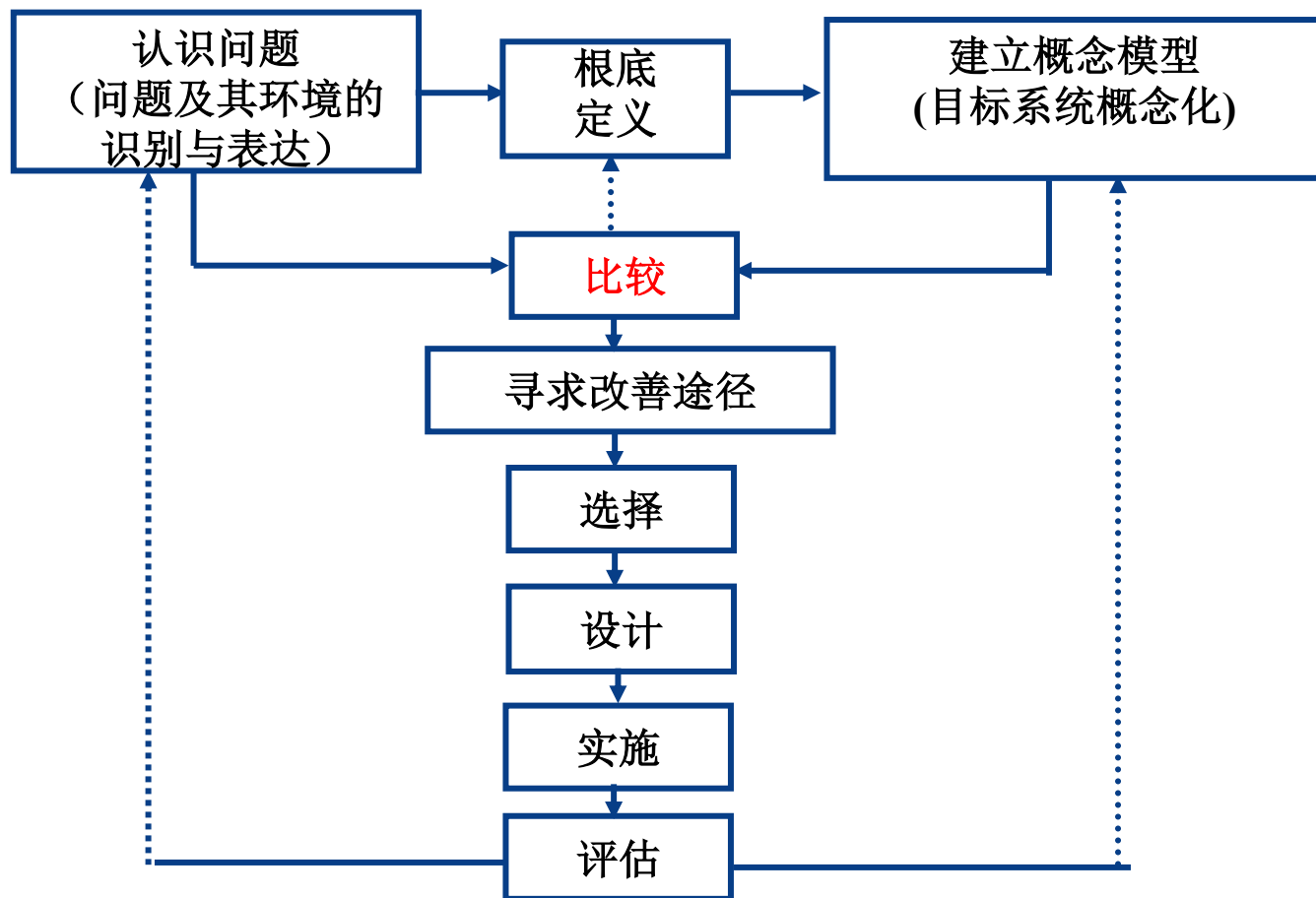
切克兰德的“调查学习”软方法的核心不是寻求“最优化”，而是“调查、比较”或者说是“学习”，从模型和现状比较中学习改善现存系统的途径。

概念模型代替数学模型，思路更加开阔。



1. 系统工程的基本工作过程 - 切克兰德方法论

切克兰德方法论的核心是“比较”与“探寻”，它强调从“理想”模式（概念模型）与现实状况的比较中探寻改善现状的途径，使决策者满意。



切克兰德方法论的主要内容和过程

1. 系统工程的基本工作过程 - 两种方法的比较

霍尔三维结构和切克兰德方法均为系统工程方法论，均以问题为起点，具有相应的逻辑过程。

在此基础上，两种方法论主要存在以下不同点：

- 霍尔三维结构主要以硬系统为研究对象，而切克兰德方法更适合于对社会经济和经营管理等“软”系统问题的研究。
- 前者的核心内容是优化分析，而后者的核心内容是比较学习。
- 前者更多关注定量分析方法，而后者比较强调定性或定性与定量有机结合的基本方法。

1. 系统工程的基本工作过程 -其他创新方法

□ 物理—事理—人理（WSR）系统方法论

- 中国系统工程专家顾基发和英国华裔专家朱志昌于20世纪90年代中期提出了物理—事理—人理（WSR）系统方法论。
- 自然科学是关于物理的科学；运筹学是关于事理的科学（许国志），实际还包括系统科学、管理科学，事理就是做事的道理；处理好人的关系这是人理学，就是人文科学、行为科学，人理就是做人的道理。
- 三者结合起来就是“WSR系统方法论”，它是具有东方文化传统的系统方法论，得到国际同行的认同。

1. 系统工程的基本工作过程 -其他创新方法

□ 物理—事理—人理（WSR）系统方法论

“物理”内涵：

- （1）象征本体论的客观存在，包括物质及其组织结构；
- （2）阐述自然客观想象和客观存在的定律、规则；
- （3）物质运动和技术作用的一般规律，是一种客观存在，不以人的意志为转移；
- （4）管理过程和管理对象中可以并应该由自然科学、工程技术描述和处理的层面。

1. 系统工程的基本工作过程 -其他创新方法

□ 物理—事理—人理（WSR）系统方法论

“事理”内涵：

- （1）人们办成办好事情应该遵循的道理、规律；
- （2）指帮助人们有效处理事务的方法；
- （3）管理者介入和执行管理事务的方式和规律。

“人理”内涵：

- （1）关注、协调系统中所有团体相互之间的主观关系；
- （2）把组织在一起有效开展工作的方法；
- （3）管理主体之间相互沟通、学习、调整、谈判等技巧。

1. 系统工程的基本工作过程 -其他创新方法

□ 物理—事理—人理（WSR）系统方法论

WSR系统方法论的内容

要素	物理	事理	人理
道理	物质世界、法则、 规则的理论	管理和做事的理论	人、纪律、规范的理论
对象	客观物质世界	组织、系统	人、群体、人际关系、智慧
着重点	是什么？功能分析	怎样做？逻辑分析	应当怎样做？人文分析
原则	诚实，真理，尽可能 正确	协调，有效，尽可能 平滑	人性，有效果，尽可能灵活
需要的知识	自然科学	管理科学， 系统科学	人文知识，行为科学

1. 系统工程的基本工作过程 -其他创新方法

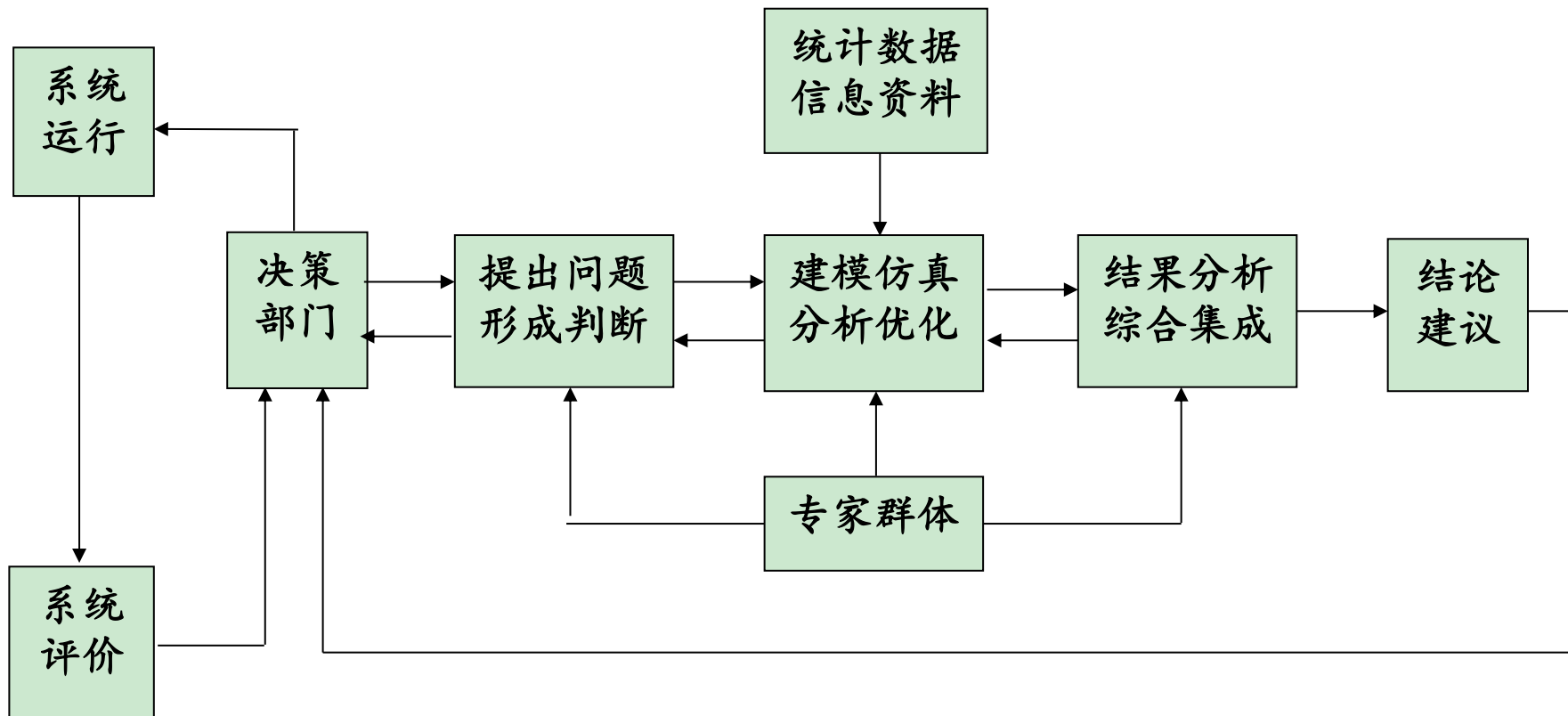
□ 综合集成工程

综合集成（Meta-Synthesis）工程是从整体上考虑并解决复杂问题的方法论。**钱学森等**在研究解决开放的复杂巨系统问题时，提出了“**从定性到定量综合集成方法**”，这是系统工程思想的新发展。其实质是将专家群体、数据挖掘和计算机信息技术有机地结合，把各种学科的理论 and 人的经验知识结合起来，发挥整体优势。

- 综合集成即创造；
- 综合集成是实现大科学、大工程的基本途径；
- 综合集成的关键是解决整体与局部的关系问题,实现 $1+1>2$

1. 系统工程的基本工作过程 - 其他创新方法

□ 系统集成工程



钱学森的从定性到定量的系统集成方法图

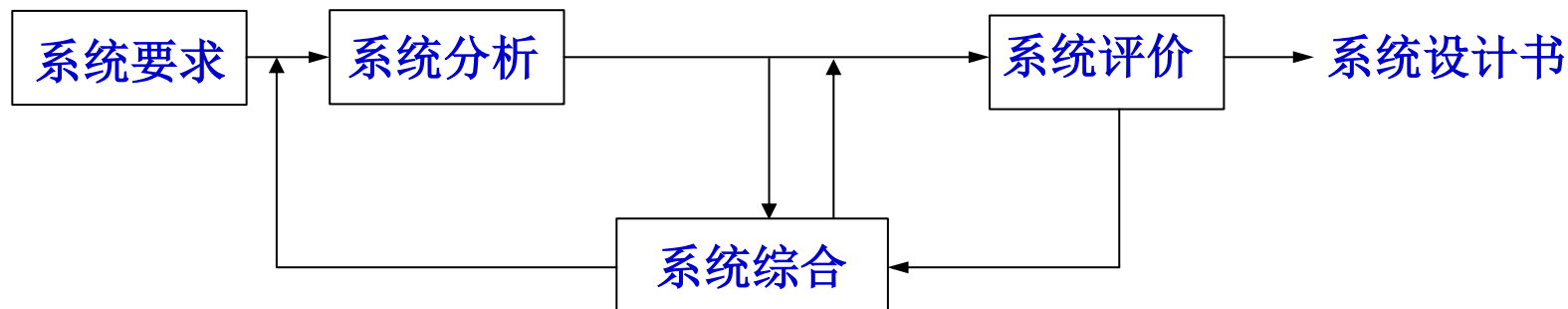
第二章 系统工程方法论

第一节 系统工程的基本工作过程

第二节 系统工程的基本方法

2. 系统工程的基本方法

- 根据系统的基本组成和性质，系统、充分了解研究对象；
- 采用各种分析工具及方法进行分析，综合分析的结果，编制出最大限度地满足要求的系统设计书；
- 对分析的结果和综合的系统设计进行评价，使之有效地完成系统目的等各项要求事项。



系统工程基本方法框图

2. 系统工程的基本方法

■ 系统分析

系统分析是一个有目的、有步骤的探索和分析过程，即为了给决策者提供直接判断和决定最优系统方案所需要的信息和资料。

- ✓ 从系统的总体最优出发，采用各种科学的分析工具和方法，对系统的目的、功能、环境、费用、效益等进行充分的调查研究，收集整理、分析处理有关资料、数据。
- ✓ 设计可行方案，构建有关模型，进行分析计算或仿真试验。
- ✓ 把试验、分析、计算的结果与系统目标要求进行比较和评价，最后整理成完整、正确和可行的综合资料，为决策者提供决策支持，是确定最优系统方案的依据。

2. 系统工程的基本方法

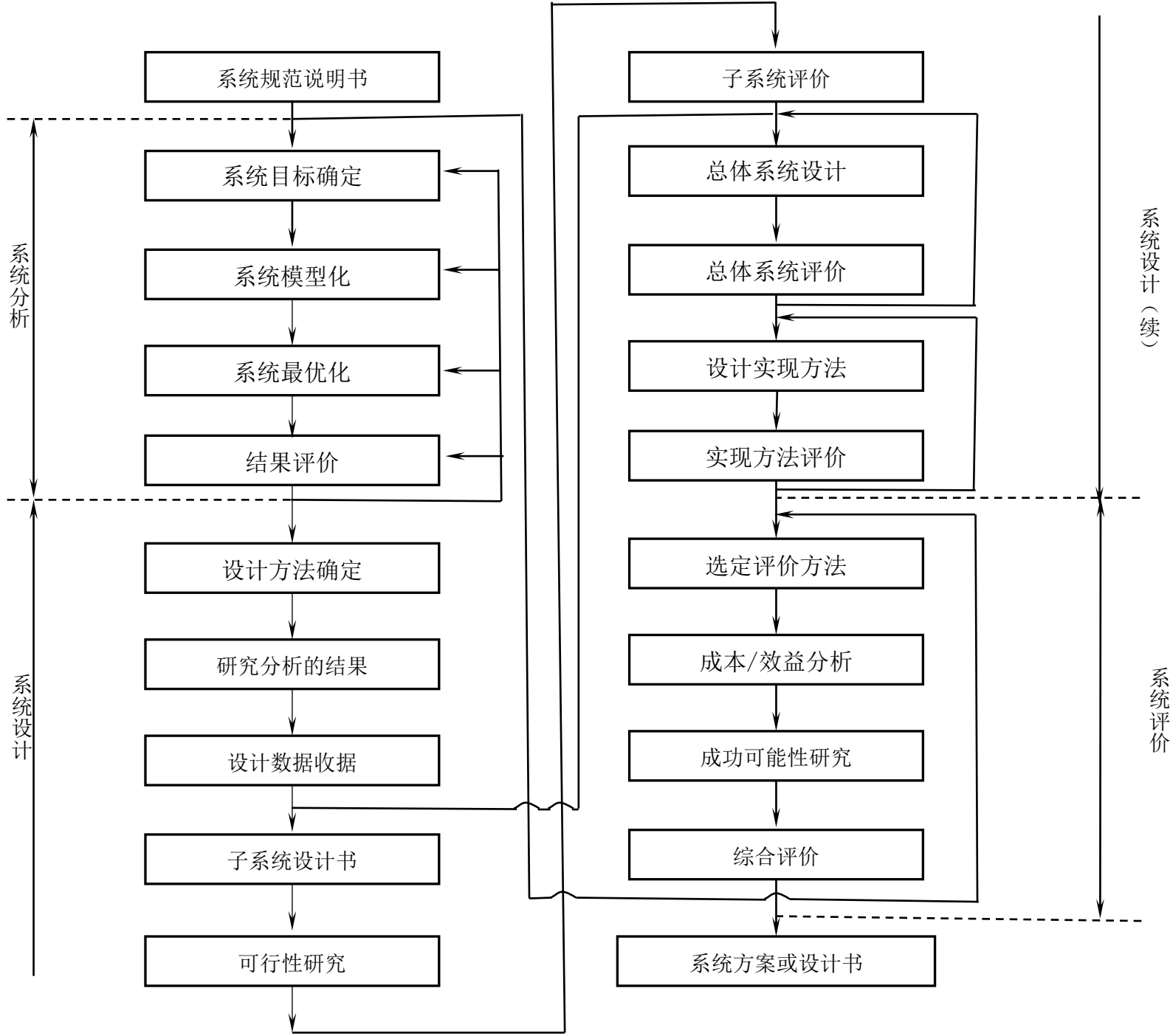
■ 系统设计

系统设计是一个综合过程，也称为系统综合。系统设计的目的在于最大限度地利用系统分析的结果，制定出最大限度满足要求的具体的系统设计书和具体设计图式。

■ 系统综合评价

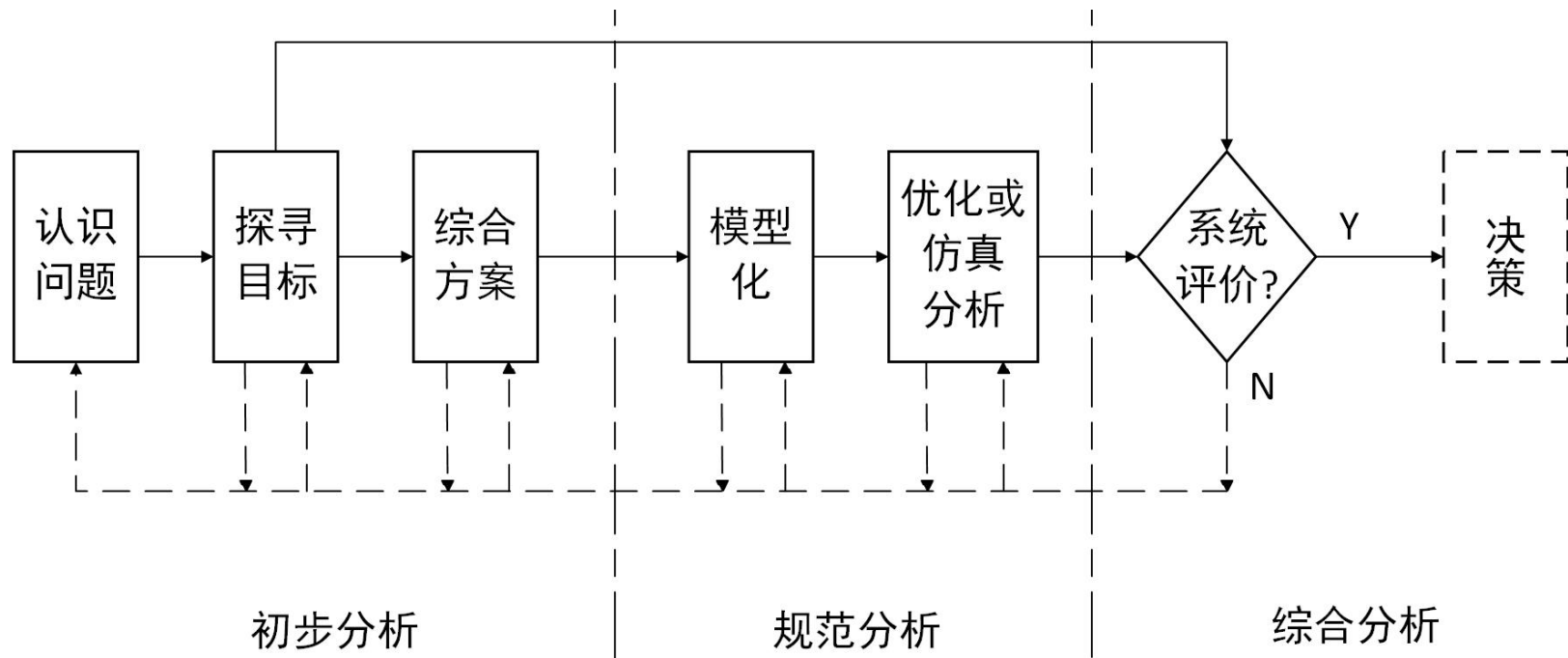
系统综合评价的目的是对设计出来的系统备选方案用技术经济的观点来评价其可行性和优劣程度，对所设计系统的成功可能性做综合评价，从而选择出适当而可能实现的系统方案。

系统的综合评价是利用价值概念来评定一个系统或不同系统之间的优劣。



2. 系统工程的基本方法

■ 系统分析



系统分析的基本过程示意图

2. 系统工程的基本方法

■ 系统分析

● 系统分析的原则

- (1) 坚持问题导向:帮助决策者解决实际问题,是系统分析的目的。
- (2) 以整体为目标:以整体最优为核心的系统观点是系统分析的前提条件。
- (3) 多方案模型分析和优选:系统分析的核心内容是根据实际问题的需要和系统目标的要求收集各种信息,寻找多个方案,并对其进行模型化及优化仿真计算,尽可能得到定量化的分析结果。
- (4) 定量分析和定性分析相结合:是系统分析的基本手段。
- (5) 多次反复进行:是系统分析的重要保障。

2. 系统工程的基本方法

■ 系统分析

创新分析方法

- 提问法（检核表法）
- 头脑风暴法
- 德尔菲法
- 情景分析法
- 定性研究方法
- 数据挖掘方法

2. 系统工程的基本方法

□ 创新分析方法 ● 提问法（检核表法）

提问法是针对需要研究的对象，列出有关的问题，形成**检核表**，然后一个个来核对讨论，从而发掘出解决问题的大量设想的创造性技术。

- 对各种场合及各种对象普遍适用的提问法，主要是5W1H法；
- 针对某种特定要求制定的检核表法，如新产品设计用检核表法、降低成本用检核表法等。

5W1H法是对某件事情从**目的(Why)**、**对象(What)**、**时间(When)**、**场所(Where)**、**人员(Who)**、**手段(How)**六个方面提出问题，看其是否合理，并找出改进之处的方法。

5W1H法是美国陆军提出的方法。由于对任何事物都可以从这六个方面发问(如初步的系统分析)，因此5W1H法至今被广泛应用。

2. 系统工程的基本方法

□ 创新分析方法

● 提问法（检核表法）

5W1H法

方面	现状	原因	改善	决定
目的 (Why)	为什么要进行新产品开发	为什么是这样	有无别的原因和要 求	对产品开发应有什 么样的要求
对象 (What)	开发什么产品	为什么开发该产品	可否开发其他更好 的产品	到底应开发哪种产 品
时间 (When)	何时开发该产品， 何时投产	为什么这样安排	有无调整的必要时 可能	应有什么样的时间 安排
场所 (Where)	产品市场及原料供 应地在哪里	为什么在这些地方	有无别的市场及更 好的原料来源	划分市场和选择原 料来源的结果如何
人员 (Who)	产品开发与生产的 任务由谁来承担	为什么由他们来承 担	有无更好的承担者	应该由谁来承担
手段 (How)	怎样开发与生产该 产品	为什么要这样做	有无更好的方式或 手段	应采取什么样的开 发与生产方式

2. 系统工程的基本方法

□ 创新分析方法 ● 头脑风暴法

头脑风暴法（Brain storming），是指由美国BBDO广告公司的奥斯本首创，该方法主要由价值工程工作小组人员在正常融洽和不受任何限制的气氛中以会议形式进行讨论、座谈，打破常规，积极思考，畅所欲言，充分发表看法。头脑风暴最早是精神病理学上的用语，指精神病患者的精神错乱状态而言的，如今转而为无限制的自由联想和讨论，其目的在于产生新观念或激发创新设想。

头脑风暴法有两条基本原则：

- ✓ 推迟判断，即不要过早地下断言、得结论，避免束缚人的想象力，熄灭创造性思想的火花；
- ✓ “数量提供质量”，人们越是提出更多的设想，就越有可能走上解决问题的轨道。

2. 系统工程的基本方法

□ 创新分析方法 ● 德尔菲法

20 世纪60年代初美国兰德公司开发出德尔菲法，以改善由于与会者地位不同而对讨论带来的负面影响。德尔菲法采用匿名的方式反复多次征询专家的意见和进行背靠背的交流，以充分发挥专家的智慧、知识和经验，最后汇总得出一个能比较反映群体意志的预测结果。因此，德尔菲法有专家匿名发表意见、多次反馈和统计汇总等特点。

- 德尔菲法主要消除了头脑风暴法面对面式讨论带来的害怕权威、随声附和，或固执己见，或因顾虑情面不愿与他人意见冲突等弊端。
- 其缺点是由于专家时间紧，回答往往比较草率；同时由于预测主要依靠专家，因此归根到底仍属专家们的集体主观判断。
- 在选择合适的专家方面也较困难，征询意见的时间较长，对于需要快速判断的预测难以使用。

2. 系统工程的基本方法

□ 创新分析方法 ● 数据挖掘方法

数据挖掘(Data Mining)是目前人工智能和数据库领域研究的热点问题，是从数据库的大量数据中揭示出隐含的、先前未知的并有潜在价值的信息的非平凡过程。数据挖掘是一种决策支持过程，主要基于人工智能、机器学习、模式识别、统计学、数据库、可视化技术等，对数据进行分析，做出归纳性的推理，挖掘出潜在模式，帮助决策者调整市场策略、减少风险，做出正确的决策。

常见的数据挖掘方法：（1）分类；（2）聚类；（3）关联分析。

关联分析的主要方法是关联规则挖掘。**关联规则是反映一个时间和其他事件之间的依赖或关联的知识。**“啤酒和尿布”的故事是关联规则挖掘的重要案例。



谢谢大家

