

五

最佳教案

1. 理工类 A 组

第七届北京青年教师教学基本功比赛（高校）参赛教案

- 比赛类别：理工类
- 比赛组别：A 组

层次分析法与网络分析法

- 课程名称：企业与信息系统建模分析
- 章节名称：系统经济与性能建模分析
- 课程类型：全校性选修课
- 授课对象：高年级本科生
- 参赛内容：层次分析法（13.1 节）
网络分析法（13.2 节）
- 授课教师：李 清

2011 年 4 月

一、课程的一般信息

【课程名称】

(中文) 企业与信息系统建模分析

(英文) Modeling and Analysis of Enterprise and Information Systems

【课程教材】

(中文) 参赛教师编著: 企业与信息系统建模分析. 高等教育出版社, 2007.

(英文) 参赛教师编著: Modeling and Analysis of Enterprise and Information Systems—From Requirements to Realization. 德国 Springer 与高等教育出版社联合出版, 2009.

【课程简介】

“企业与信息系统建模分析”课程作为全校本科生高年级的专业课, 为控制工程、管理工程、机械工程、计算机工程和工业工程等专业的学生讲授复杂系统建模分析的体系与方法。

这门课涵盖结构化与面向对象两个主要设计方法论所涉及的功能 (DFD, IDEF0)、信息 (ERD, IDEF1x)、过程 (IDEF3, EPC, GRAI, BPMN)、对象 (IDEF4, UML)、本体 (IDEF5) 等一系列的建模方法, 并在此基础上, 讨论系统分析设计过程中的评价问题, 介绍系统评价的体系结构和主流的评价建模技术。

【课程目标】

本课程力求达到 3 个层面的目标:

(1) 在思想层面, 结合哲学中认识论和价值论的基本原则, 介绍复杂企业系统和信息系统认知的体系结构和方法论, 使学生理解主流的系统参考体系结构和方法论的基本观点、视角和方法, 掌握复杂系统建模分析的基本思路, 对体系结构方法论的研究和工程前沿形成基本的认识。

(2) 在知识层面, 使学生能够掌握结构化设计和面向对象设计的基本概念和方法, 了解该领域的主要工程实践和理论流派, 更清晰地认识各种理论之间的内在联系和差异。

(3) 在技能层面, 使学生能够利用所学的理论知识分析和解决现实生活中的复杂系统分析问题, 同时对其工程实践进行理论提炼和建模分析。

二、学生特点分析

作为一门本科生双语授课的专业课程, 选课的学生群体具有 3 个突出特点:

(1) 年龄特点: 本科高年级的学生, 在完成基础理论课程学习之后, 迫切需要了解本领域和相关领域的研究现状和发展方向, 并对本领域的复杂系统问题能够开展有效的分析和思考; 同时, 他们马上面临就业或读研的人生选择, 因此需要一门具有方法论性质的课程, 帮助他们掌握基本的复杂系统分析、设计和评价的方法, 并据此展开有效的复杂系统分析和思考, 为未来的科研或职业生涯提供基本的工作和科研方法。本课程的技术和方法对于学生展开理性的人生规划, 尤其能提供强有力的支持。参赛教师的一些学生就曾经使用层次分析法 (AHP) 建立就业方向的决策和评价模型, 辅助进行职业规划。

(2) 知识特点: 本科高年级学生已完成基础课程的学习, 具备一定的自学和分析能力, 但基础课程所提供的视角离解决实际工程问题尚有一段距离。学生通过本课程所讲授的体系结构和方法论的学习, 将有利于形成比较全面的发现问题和解决问题的基本技能。

(3) 工程经验: 本科生大多比较缺乏接触社会和工程实践的机会, 如何让学生对工程对象产生直观的理解, 是本课程的一大教学难点。本课程采用大量工程问题和案例相结合的教学方法, 特别适应本科生精力旺盛、对新鲜的社会和技术问题具有持续高涨兴趣的特点, 能够引起学生的共鸣, 激发他们深入地思考。另外, 本课程的教学设计针对本科生较少受到成见束缚的特点, 鼓励学生以“初生牛犊”的勇气, 用全新的视角审视所面临的理论和工程问题, 激发出他们创新性的思想火花, 也大大提高了学生对于所学理论方法的应用能力。



三、针对学生特点而采取的教学措施

针对学生群体的上述特点,本课程在课程定位、内容和方式等方面主要采取以下措施,以提高教学的针对性和实际效果。

(1) 贴近工程实践。本课程具有非常强的实践性和可操作性。课程安排学生参观工程现场,获得对工业系统的直观认识。参赛教师每年都组织选课学生参观北京内燃机厂、北京石油设备厂等信息化工作有特点的企业;同时,课程中所有的建模方法都采用了生活中或者工业系统的模型。例如,使用学生日常接触到的系统(如选课系统、图书馆借阅系统)的模型实例,以说明建模语言的语法、语义及建模方法。在此基础上,通过一个权威性的工业系统模型,让学生对工业系统形成深刻的认识,并理解如何在工程实践中有效运用这些方法。此外,课程将理论知识与学生的工程实践进行了很好的对接,使其能够应用所学理论知识解决现实问题,做到学以致用。

(2) 采用启发式和互动式教学。针对学生群体比较活跃的特点,改变单纯的灌输式教学,更多地采用启发式和互动式教学。通过启发式提问、小组讨论、集体讨论等多种方式,调动学生参与课堂教学的积极性。对学生的考核采用小组方式进行。通过持续整个学期的课程设计,使学生能够对课堂介绍的技术和方法进行系统应用。

(3) 采用案例教学和多媒体教学。课上大量引用工业标准和规范中的模型,并利用丰富的视频和音频资料,直观、形象、立体地展示工程实例和建模方法的工程应用,加深学生对于理论知识及其应用方式的理解。

(4) 营造轻松愉快的课堂气氛。本课程针对年轻学生群体接受力强、易于沟通的特点,力求做到教学内容严肃而教学方式活泼,寓教于乐,努力营造师生之间平等沟通、相互学习的良好氛围,真正实现教学相长的目标。

(5) 采用双语授课。本领域技术发展迅速,学生需要阅读大量的英文文献,以追踪最新的发展状况。因此,本课程采用双语教学,便于学生跟踪最新的研究动向;并开展国际学术交流。为了方便学生理解,参赛教师编写了中文和英文两本教材。

(6) 编写中英文的教材。(详见教学创新点)

四、本单元教学目标及教学内容

【教学专题】

“第十三章 系统经济与性能建模分析”中的两节:

13.1 层次分析法(AHP)

13.2 网络分析法(ANP)

【授课时间】50 min

【教学目标】

本单元教学介绍系统评价技术的基本概念,使学生理解并掌握层次分析法与网络分析法的原理、过程和算法,并通过实例建立对这些方法的直观认识;同时,通过讨论层次分析法所蕴涵的哲学观点,使学生了解评价技术的发展脉络和相关研究的一般方法论。

具体来说,本课程力求达到以下3个层面的目标。

1. 在思想层面

(1) 理解系统评价面临的主要问题。

(2) 理解评价是优化之先:在系统优化之前,必须解决评价的问题。

(3) 掌握系统评价的基本概念与方法。

(4) 了解评价领域的主要哲学流派。



2. 在知识层面

(1) 掌握层次分析法与网络分析法的原理和过程。

(2) 掌握评价体系的构建思路和方法。

(3) 掌握数据采集和处理的技术。

(4) 理解和掌握数据一致性的检验方法。

3. 在技能层面

(1) 使学生能够利用所学理论知识,分析和解决现实生活中的复杂系统分析问题。

(2) 能够对日常生活和工作中遇到的问题进行理论提炼。

【教学内容】

本次课主要讲授以下内容:

(1) 系统评价在系统分析设计过程中的地位与作用。

(2) 系统评价的主要问题、哲学本质和基本理论。

(3) 层次分析法及其工程应用。

(4) 网络分析法及其工程应用。

(5) 层次分析法和网络分析法所体现的评价理论的研究前沿。

【整体教学安排】

本次教学分为课前、课中和课后3个环节。

课前阶段:教师在上节课结束时,要求学生阅读教材,结合自己的课程设计,考虑如何进行方案的比较决策以及方案的优化问题,并通过查阅文献资料和上网等途径,建立对评价方法的最基本认识。

课中阶段:通过理论讲解和案例分析,使学生建立系统评价的概念,掌握层次分析方法和网络分析方法,并能够有效掌握系统评价的基本理论知识及其工程应用方法。

课后阶段:要求学生组成2~3人的团队,围绕整个课程设计,建立层次分析或网络分析的评价模型,进行方案的选择和评价,从而使将课上所学与工程实际相结合,达到学以致用目的。

五、本讲的重点与难点

【教学重点】

(1) 理解系统评价问题的独特性。

(2) 掌握层次分析法的基本流程、建模方法、数据收集和处理技术。

(3) 掌握网络分析法的基本流程、建模方法、数据采集和处理技术。

(4) 掌握评价技术研究的基本思路。

【教学难点】

(1) 如何理解复杂系统评价所面临的主要问题(包括多目标的评价和不可计量要素的评价)?

(2) 如何理解专家判断所产生的不一致性问题?

(3) 如何理解层次分析法和网络分析法所蕴涵的哲学命题?

【对重点、难点的处理】

为了促进学生更好地理解和掌握教学内容,教师将综合采取以下措施:

(1) 教学内容方面,力求讲授原则、原理和教授方法并重,使学生知道如何应用原理来分析和解决现实问题,避免理论和实际脱节。

(2) 教学方式方面,通过有针对性的提问,启发学生独立思考,而不是提供唯一标准答案。

(3) 教学角度方面,通过实例的运用和哲学原理的讨论,揭示系统评价的内涵,培养学生从不同层次、不同角度思考问题的能力。

六、教学创新点

以文化和技术完美融合为特征的苹果公司颠覆了传统计算机行业和手机行业的成长模式,对纯粹以



技术为先导的传统优势企业造成了巨大的冲击。这揭示了现代工程系统设计不是单纯的技术创新，更需要体现文理交融。这也是参赛教师本单元教学创新点的主体，具体体现在以下3个方面。

1. 在展开系统“优化”之前需要首先解决“评价”问题，提出“评价”是“优化”之先的复杂系统工程设计的思想

传统的工程系统设计包括“建模”与“优化”两个步骤。有学者认为“凡事皆‘优化’，‘优化’是生产和生活中最本质的一种活动”。在这一思想的指导下，大量的专业教科书在建模方法之后直接转入各种优化方法的阐述，但是在实践中，工程技术人员经常困惑于优化过程所产生的完全相反的结果。例如，大量引进的最先进的信息技术没有发挥应有的作用；在国外效果显著的装备在国内也经常遇到适应性的问题。参赛教师经过深入的研究发现，上述学者们的观点实际上忽略了人类认识活动中的一个重要环节：“评价”。“评价”决定“优化”的目标。相同的评价体系，采用不同的优化方法，其差异仅仅是数量上的；而评价体系不同，则优化的结果会出现本质的差别。因此，需要强调评价活动和评价技术在工程技术领域的地位和对系统优化的前导作用。“评价”定义目标，“优化”提供手段。

在信息技术领域，为了提供集成系统的认知、设计、分析手段，各国均开发了数量众多的体系结构和建模技术。国际自动化联盟和国际标准化组织也有专门的工作组从事这方面的研究和标准化工作。早期的成果集中在系统的结构性和行为性的建模技术方面，以及与之配套的系统优化的理论研究和工业实践，但是这些研究成果未能有效避免系统在构建和使用过程中涌现的大量问题，其症结在于忽视了评价活动的重要作用，没有提供系统评价的建模方法和分析手段。因此，参赛教师及其研究团队提出经济/评价建模和分析的思想，形成了相关的解决方案。该方案经过了工业实践的验证，并被接受为国际标准 ISO15704 “Industrial Automation Systems—Requirements for Enterprise Reference Architectures and Methodology” 的组成部分。法国的 Grai 实验室和德国的 ARIS 也相继引入了评价方面的视图和工具。

本课程通过典型的工程案例，强调“评价”是在“优化”之前需要预先解决的问题，使学生全面掌握复杂工程系统设计的思想方法是“建模—评价—优化”，而不是“建模—优化”，同时重视在评价技术领域的文理交融。

2. 揭示了文化因素对复杂产品系统设计的影响，提出工程系统评价中蕴涵着文化因素

在工程技术领域，很少有论著将技术和文化联系在一起。除工业造型设计等有限专业外，多数工程学科的专业课程都只关注本领域的理论和技术问题，但实际情况却是，所有复杂产品设计都受到文化因素的影响。参赛教师在2008年参加了我国大型客机联合工程队，并承担了飞行控制与飞行管理课题的研究工作。本课程中，通过对波音和空客的飞行控制系统结构性差异的分析（见本教案图1所示部分），学生第一次注意到控制系统设计的实践与教科书介绍的经典方法有很大差异。“评价”以及与之相关的文化因素，都会对系统的总体设计思路产生深刻的影响。这一概念从未出现在传统控制学科的教科书中，是参赛教师的理论研究和工业实践的成果，揭示了制约我国复杂产品控制系统设计的一个重要问题。

3. 剖析了层次分析法的哲学内涵，解构了 Saaty 教授在提出层次分析法和网络分析法时的哲学思考

层次分析法（AHP）是美国匹兹堡大学运筹学专家 Saaty 教授于20世纪70年代中期提出的。该方法是决策支持与评价领域使用最广泛的分析技术，在工程、管理、经济领域有大量的成功案例。近年来，国内外一些学者将 AHP 和模糊等方法进行融合，形成了大量拓展性的新方法，发表了海量的论文，但是 Saaty 教授并不认可这样的研究方向及相关的研究结果。参赛教师为深入探讨层次分析法的思想本质，于2004年11月10日邀请 Saaty 教授访问北京，面对面地询问了他有关层次分析法研究的基本理念和主要的思维线索。Saaty 教授只是回答他的研究工作受到其祖母的启发，认为两两比较是进行评价、排序、决策的最佳方式。Saaty 教授的回答不能令参赛教师满意。参赛教师认识到，如果不能很好地解决这一问题，则教学必然陷入没有思想的单纯方法教授，也无法启迪学生未来的科研活动。参赛教师在阅读 Saaty 有关层次分析法和网络分析法各个时期论文和著作的过程中，注意到层次分析法的构建受到西方价值哲学不同流派的影响，厘清了 Saaty 教授在评价理论研究过程中对情感主义、直觉主义、规定主义和自然主义等哲学流派的借鉴和融合，使得 AHP 呈现出既挖掘分析人员的主观经验，又屏蔽其情感所产生的非理性倾向的特点。由此，参赛教师领悟了 Saaty 教授在面谈中所宣称的观点：从数学上可以保证，在分析人员提供40%恶意数据的情况下，评价结论依然不会发生改变。参赛老师同时也理解了 Saaty 教授对大量混合式



研究持批判态度的原因,以及他从层次分析法扩展出网络分析法的思想基础。这样从哲学的高度来帮助学生理解一种技术和方法的产生过程,能使学生在掌握方法的同时,进一步掌握开发新技术的模式和道路,体现了参赛教师“既授之以鱼,也授之以渔”的教学理念和方法。

以上关于层次分析法部分的教学创新点,除了已经成为国际标准外,还反映在参赛教师编写的中文教材《企业与信息系统建模分析》(高等教育出版社,2007年9月)和英文教材《Modeling and Analysis of Enterprise and Information Systems》(高等教育出版社和 Springer 联合出版,2009年2月)中。

参赛教师的中文教材被哈尔滨工业大学、华南理工大学、东华大学、江西财经大学、解放军南京信息工程大学,以及北京的多所重点高校采用,2009年被评为北京市高等教育精品教材;ACM Computing Reviews 评论员 Cecilia G. Manrique 在亚马逊网站对英文教材的评价是:“This book highlights the usefulness of modeling as a means to analyze and design systems. ... Overall, the book is a good reference for those involved in the modeling and analysis of enterprise and information systems.”

七、教学方式和媒体选择

本课将综合采用以下教学方式,以激发学生的学习兴趣,引发其深入思考,顺利达到教学目标:

- (1) 采取教师讲授、启发式提问和讨论相结合的互动式教学方法,鼓励学生积极思考,踊跃发言。
- (2) 大量运用 PPT、视频等多媒体进行教学,力求更加形象、生动、直观地展示系统评价的基本技巧。
- (3) 利用 PPT 和板书重点剖析课程的难点部分。

八、教学内容与设计

- 导言、组织教学与复习提问

1 分钟

新课

(20 分钟教学演示部分开始)

13.1 层次分析法

共 20 分钟

13.1.1 系统评价和评价建模的必要性 教学难点

共 3 分钟

- 引言

1 分钟

本课程我们已经学习了结构化设计与分析方法中功能建模、信息建模、过程建模的一系列的方 法,也学习了面向对象设计方法中的 IDEF4 和 UML,我们还学习了最新发展起来的面向语意技术的本体建模方法。同学们以 2~3 人为一组的课程设计小组的课程设计也基本完成了你们所选择系统的功能设计、信息结构设计和业务逻辑设计,当你们完成这些设计模型的时候,有没有感觉缺少了某一方面的分析?

- 多设计结果评价和决策的必要性

2 分钟

有同学说,按照以前学控制理论的做法,我们有了设计方案之后,就要开始进行系统优化,拿出一个最后的系统方案,而在系统优化之前,我们首选需要解决什么问题呢?

【举例】2008 年我参加中国大客机联合工程队时遇到的问题:如何设计和决策控制系统的结构?因为我们的两个参照系,即波音和空客的飞行控制系统的结构完全不同(见图 1),但是他们在技术上和商业上都取得了成功。那么,我们在进行国产大飞机的设计过程中应该如何抉择?

从系统分析可以发现,波音公司在飞行控制系统设计时考虑:

(1) 驾驶员是整个飞机系统的最重要环节,驾驶员需要对整个飞机进行完整的掌控,飞行控制系统不能影响到飞行员对飞机的最终控制。

(2) 飞控系统是保证飞行安全的最重要的组件,要求具有很高的安全性和可靠性。安全性达不到这种要求的系统功能,都不放在飞行控制回路内,而是放在更外的回路。

由于秉承这样的设计理念,Boeing777 的飞行控制系统以驾驶员操作为中心。驾驶员对飞机进行持续、有效、主要权限的操纵。飞控系统的权限是有限的,并联在驾驶员的操纵通道中。

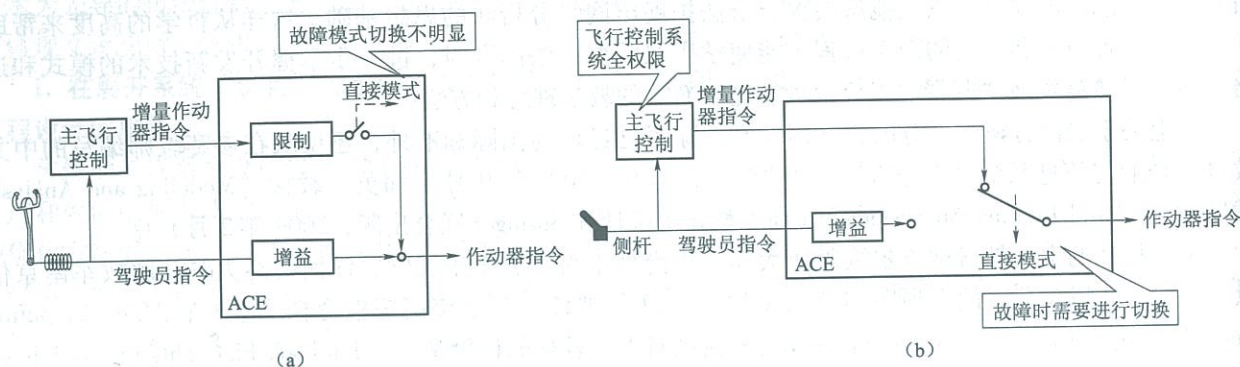


图1 波音和空客不同的飞行控制系统体系结构

(a) 波音; (b) 空客

空中客车公司是最早在商用飞机上采用电传操纵的公司，通过系统分析可以发现其在进行飞控系统设计时考虑：

- (1) 简化驾驶员的操纵，尽可能多地由飞控系统完成复杂的飞行操作。
- (2) 飞控系统的安全性已经足够高，能够满足飞行安全的要求。
- (3) 更多地考虑飞机的飞行性能。

因此，空客飞控系统的模式是围绕飞机的性能，驾驶员的操纵需要通过控制系统的处理，全权限地操纵飞机。

中航615所的顾世敏研究员一直强调：要设计符合中国文化传统的飞行控制和飞行管理系统。但是我们没有，为什么呢？

因为我们没有解决准则构建和评价问题。那么，我们如何评价一个技术方案的好坏？

关键点：使用工程中的案例，加强学生对系统评价必要性的认识。

13.1.2 系统评价的理论基础

4 分钟

• 评价在体系结构与系统建模中的角色

1 分钟

评价是人类生活中最普遍的现象之一。它“渗透于人类生活的各个细胞，与人类社会的历史一样悠长。人们无时无刻不在评价着——对自然、社会、他人、自己，同时又无时无刻不在被评价着——被他人，被自己”。（冯平《评价论》，东方出版社，1995年）

从系统工程的角度来说，评价是对系统运行机制的外在表现和性能的评判，因此评价建模是整个复杂系统建模分析的重要组成环节。本课程前面介绍的方法都是在描述企业和信息系统的结构和运行机制。在体系结构中还需要有手段对系统的性能进行分析，也就是需要有经济视图和性能视图。这个概念是参赛教师及其团队的独创，图2所示的ISO15704中经济视图的框架文件就是参赛教师完成的。

• 评价问题的构成要素

1 分钟

一般来说，构成评价问题的要素有以下几个方面：① 评价目的；② 评价对象；③ 评价者；④ 评价指标；⑤ 权重系数；⑥ 标杆（参照物）；⑦ 数据采集；⑧ 数据处理；⑨ 数据解读。

• 常规综合评价的主要缺陷

2 分钟

综合评价方法包括以下4个步骤：① 构建评价体系；② 赋予每个指标权重；③ 收集数据；④ 加权综合。

综合评价是我们通常使用的方法，但是在实践中却呈现出非常明显的缺陷。这些缺陷包括：① 权重选择的随意性；② 缺乏有效的不可计量因素的量化手段；③ 数据综合后再比较，丧失了大量的评价信息。

【举例】2006年引起多人丧命的齐齐哈尔第二制药厂亮菌甲素事件，在广东省的药品招标评分中，尽管质量所占的分数近半成，但是往往只占分数25%~30%的价格因素却起决定性作用。企业资质相当的情况下，谁的价格较低又处于合理状态，谁就很可能在招标中成为赢家。事实证明，在广州市的统一招标采购中，“齐二药”的亮菌甲素注射液中标价是28.73元，低于同类中标企业的10%~30%。这说明

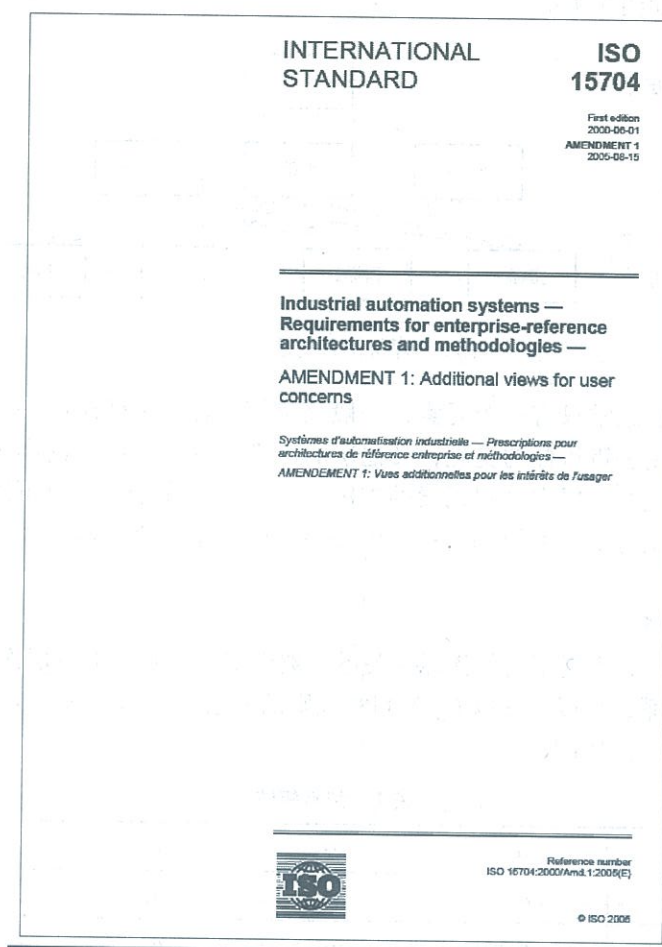


图2 参赛教师完成的 ISO15704 中的经济视图文件

了综合评价的另外两个严重的问题：① 重要指标的钝化问题（当比较样本在某一指标上区别不明显时，例如本次事件中的“质量”因素，在无法区分差异的情况下，会不起作用）；② 一俊遮百丑（某一个指标具有明显的区分度的情况下，会单独决定评价结果，例如本次事件中的“价格”因素）。

因此，很多人怀疑评价的客观性和真实性。

关键点：理解评价在整个系统设计过程中的地位及其基本概念，使学生了解他们日常生活中所进行的评价活动的基本框架，对评价问题本身产生兴趣。

13.1.3 层次分析法

4.5 分钟

• 层次分析法的基本原理

1 分钟

层次分析法（Analytic Hierarchy Process，简称 AHP）是 20 世纪 70 年代中期著名运筹学家、美国匹兹堡大学数学教授 Saaty 提出的一种多指标综合评价方法。AHP 本质上是一种决策思维模式，它从系统的观点出发，把复杂问题按层次逐层分解，以形成有序的递阶层次结构。通过两两比较判断的方式，确定每一层次中因素的相对重要性，然后在各层次之间进行合成，决定诸因素在决策目标下的重要性总排序。

- (1) AHP 是一种主观赋值的评价方法，能很好地解决不可计量因素的量化问题。
- (2) 能对具有层次性的多指标的权重通过两两比较后计算得出，而不是任意地给定一个权重。
- (3) 按照下层因素相对上层因素的重要程度进行统一量化。
- (4) 能方便地与其他评价方法结合使用，从而进行方法上的补充和改进。
- (5) 方法简单明了，容易理解。
- (6) 能够比较方便地让评价者/决策者加入到评价过程中。

关键点：理解什么是层次分析法，以及层次分析法的基本原理。

• 层次分析法分析结构的构造

1.5 分钟



层次结构的典型形式如图3所示。

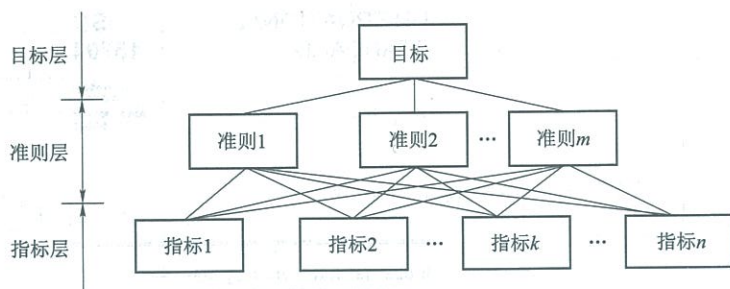


图3 评价体系的层次结构

递阶层次结构的最高层通常只有一个元素，一般是决策目标。中间层次一般是准则，准则可以有多层。准则层的最高层准则受决策目标的支配，其他层的准则又受上一层次的准则支配。递阶层次结构体现了这种从上至下的支配关系。层次之间元素的支配关系可以是完全的，也可以是不完全的，即上一层次的元素不一定与下一层次每个元素间都存在支配关系。同层指标之间没有关系，下层指标对上层指标也不能有支配关系。

• 构造两两比较判断矩阵

2 分钟

建立评价指标体系之后，上下层之间指标的关系就被确定了。假定上一层次元素 C_k 对下一层次元素 A_1, A_2, \dots, A_n 有支配关系，可以建立以 C_k 为判断准则的元素 A_1, A_2, \dots, A_n 间的两两比较判断矩阵。判断矩阵记作 A ，矩阵形式如表1所示。

表1 判断矩阵

C_k	A_1	A_2	...	A_j	...	A_n
A_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1j}	...	a_{1n}
A_2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2j}	...	a_{2n}
\vdots	\vdots	\vdots		\vdots		\vdots
A_i	a_{i1}	a_{i2}	...	a_{ij}	...	a_{in}
\vdots	\vdots	\vdots		\vdots		\vdots
A_n	a_{n1}	a_{n2}	...	a_{nj}	...	a_{nn}

矩阵 A 中的元素 a_{ij} 反映针对准则 C_k ，元素 A_i 相对于 A_j 的重要程度。矩阵 A 是一个互反矩阵， a_{ij} ($i, j=1, 2, \dots, n$) 有如下性质： $a_{ij} > 0$ ； $a_{ij} = 1/a_{ji}$ ； $a_{ii} = 1$ 。

确定矩阵元素 a_{ij} 的数值需要决策者反复回答这样的问题：针对准则 C_k ， A_i 与 A_j 哪一个重要，重要程度如何？层次分析法中通常采用9级标度法给判断矩阵的元素赋值。9级标度法中， a_{ij} 的值与被比较元素的相对重要程度之间的对应关系如下：

A_i 与 A_j 同样重要： $a_{ij} = 1, a_{ji} = 1$

A_i 比 A_j 稍微重要： $a_{ij} = 3, a_{ji} = 1/3$

A_i 比 A_j 明显重要： $a_{ij} = 5, a_{ji} = 1/5$

A_i 比 A_j 非常重要： $a_{ij} = 7, a_{ji} = 1/7$

A_i 比 A_j 极端重要： $a_{ij} = 9, a_{ji} = 1/9$

如果被比较元素的相对重要程度是介于上述判断中相邻两种判断之间， a_{ij} 可取 2, 4, 6, 8；相应地， a_{ji} 可取 1/2, 1/4, 1/6, 1/8。

13.1.4 工程应用实例及问题解决

课程难点

6 分钟

• 工程实例

3 分钟

某企业需要提升企业的竞争力，目前有3个技术改造方案可以选择：引进先进制造技术、引进先进的信息技术和引进先进的设计技术。但是由于企业财力有限，只能选择其中一项进行投资。

(1) 构造评价的层次结构 (见图 4)。

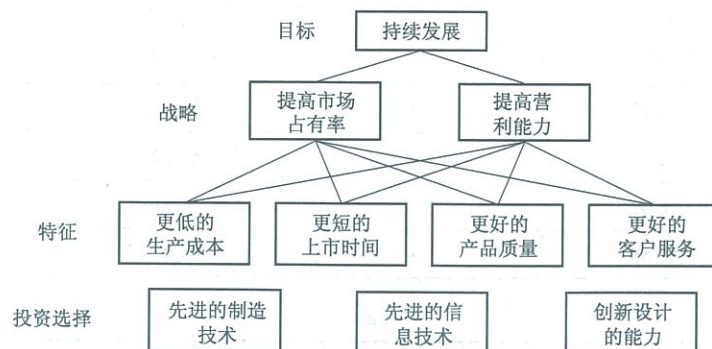


图 4 评价的层次结构

(2) 构建两两评价判断矩阵 [见表 2 (a) ~ (g)]。

表 2 比较矩阵

成本	MT	IT	DT	几何平均	优势度
MT	1	7	3	2.76	0.65
IT	1/7	1	1/5	0.31	0.07
DT	1/3	5	1	1.19	0.28

(a)

时间	MT	IT	DT	几何平均	优势度
MT	1	2	2	1.59	0.48
IT	1/2	1	1/3	0.55	0.17
DT	1/2	3	1	1.14	0.35

(b)

质量	MT	IT	DT	几何平均	优势度
MT	1	7	1/3	1.33	0.32
IT	1/7	1	1/5	0.31	0.08
DT	3	5	1	2.47	0.60

(c)

服务	MT	IT	DT	几何平均	优势度
MT	1	1/7	1/3	0.36	0.13
IT	7	1	5	1.48	0.55
DT	3	1/5	1	0.84	0.32

(d)

市场占有率	C	Q	T	S	几何平均	优势度
C	1	1/3	5	1/3	0.82	0.12
Q	3	1	7	1/3	1.91	0.28
T	1/5	1/7	1	1/7	0.16	0.02
S	3	3	7	1	3.98	0.58

(e)

利润率	C	Q	T	S	几何平均	优势度
C	1	3	2	5	3.11	0.46
Q	1/3	1	3	2	1.26	0.19
T	1/2	3	1	7	2.19	0.31
S	1/5	1/2	1/7	1	0.24	0.04

(f)

企业成长	市场占有率	利润率	几何平均	优势度
市场占有率	1	1	-	0.5
利润率	1	1	-	0.5

(g)

(3) 数据综合与决策 [见表 3 (a) ~ (b)]。



表3 数据归结与处理

项 目	市场占有率 (* 0.5)		利润率 (* 0.5)	优势度
成本	0.12	+	0.46	0.29
质量	0.28	+	0.19	0.24
上市时间	0.02	+	0.31	0.16
客户服务	0.58	+	0.04	0.31

(a)

项目	成本 (* 0.29)		上市时间 (* 0.24)		质量 (* 0.16)		客户服务 (* 0.31)	优势度
制造技术	0.65	+	0.48	+	0.32	+	0.13	0.39
信息技术	0.07	+	0.17	+	0.08	+	0.55	0.25
设计技术	0.28	+	0.35	+	0.60	+	0.32	0.36

(b)

【新问题提出】该方法有什么问题？

如何保证判断思维的一致性？

(1) 判断思维的一致性是指专家在判断指标重要性时，各判断之间协调一致，不出现矛盾的结果。

(2) 若出现甲比乙极端重要，乙比丙极端重要，丙又比甲极端重要，这显然是违反常识的。

(3) 需要对判断矩阵进行一致性检验。

• 一致性检查

3 分钟

比较判断矩阵是正互反矩阵。如果该举证具有传递性，也就是说具有以下等式存在：

$$a_{ij} = \frac{a_{ik} a_{kj}}{a_{ij}}, j, k = 1, 2, \dots, m$$

则称判断矩阵是一致的。

设 λ_{\max} 是矩阵 A 的最大特征值。刚才提到，构造判断矩阵 A 时并不要求判断具有一致性，但判断矩阵如果偏离一致性过大也是不允许的。因此，需要对判断矩阵 A 进行一致性检验。步骤如下：

第一步：计算一致性指标。

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

式中， n 为判断矩阵的阶数。

第二步：计算相对一致性指标。

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

式中， RI 为平均随机一致性指标，是足够多个根据随机发生的判断矩阵计算的一致性指标的平均值。1 ~ 10 阶矩阵的 RI 取值如表 4 所示。一般而言 CR 愈小，判断矩阵的一致性愈好。通常认为 $CR \leq 0.1$ 时，判断矩阵具有满意的一致性。表4 RI 取值

阶数 n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49



关键点：学生在回答问题时可能会有各种想法，一方面要鼓励学生，另一方面要注意通过适当的引导使学生尽可能多地考虑评价过程中所要考虑的因素。

13.1.5 层次分析法讨论

课程难点

2.5 分钟

【新问题提出】Saaty 是如何想到这样的方法的？

AHP 是目前使用最广泛的对定性问题量化的评价模型，或者说是决策模型，它在大量的工程中得到了应用。很多做评价方法学研究的人也在其基础上做进一步的工作，比如提出模糊 AHP，对两两比较的赋权过程进行模糊化，但是 Saaty 并不认可。

2004 年 11 月 10 日，参赛教师请 Saaty 访问北京，问了他这个问题。他和参赛教师说，之所以想到层次分析法，是来自于他祖母的哲学：怎么来评价自己的 10 个孙子？最简单的方法就是两两比较。两两比较对评价人来说是最简单的，不会被其他要素分散注意力。Saaty 的回答完整吗？

西方价值哲学关于评价的认识本质和真理性的分歧：

(1) 直觉主义：价值独立于我们的评价而存在于客观事物之中，并只能通过直觉才能把握。

(2) 情感主义：价值判断只是或者主要是情感表达。

(3) 规定主义：伦理和价值判断具有规定意义，具有理性，可以进行逻辑分析和推理。

(4) 自然主义：从经验而非超验角度理解价值，认为价值可以由事实推出，评价本质上属于认识，评价具有真假特性，评价的真可以通过经验证实。

Saaty 在追求什么，在回避什么？

关键点：说明 Saaty 本质上是直觉主义的，同时认为情感会影响到直觉对客观事物的判断，尤其是在不可计量要素的赋权两化过程中，因此他系统通过更广泛意义上的经验（自然主义），构建一种结构化的推理模式（规定），将情感的要素规定在比较狭小的作用范围内。Saaty 曾经对参赛教师说，只要在构建层次结构过程中没有受到情感的影响，在赋权的时候即使有 40% 的恶意数据，也不会影响最终评价的结果。

（20 分钟教学演示部分结束）

13.2 网络分析法

共 30 分钟

13.2.1 层次分析法的描述局限性

2 分钟

【提问】Saaty 不认可混合式的创新方法，他是如何推进理论研究工作的呢？

系统评价要素在多数情况下不是层次关系，而是相互制约的网络关系。

网络分析法（Analytic Network Process，简称 ANP）是由 Saaty 于 1996 年提出的。ANP 是 AHP 的一般形式，与 AHP 最大的不同之处在于它不再要求指标之间具有严格的层次关系，下一层次指标可以对上一层次指标进行反馈，同层次指标之间也可以存在相互联系，即 ANP 的评价体系可以是互相影响的网络结构而不是严格的层次结构。

13.2.2 网络分析法的基本概念

课程难点

7 分钟

ANP 的应用步骤要比 AHP 的复杂。在介绍 ANP 的使用步骤之前，需要解释几个重要的概念。

• 直接优势度和间接优势度 5 分钟

直接优势度：给定一个准则，两指标（组）对于该准则的重要程度进行比较。这种情况在 AHP 中比较常见，AHP 的一个重要步骤就是在一个准则下，受支配指标（组）进行两两比较，由此获得判断矩阵。ANP 中准则层对目标的两两比较也是这种情况（见图 5）。

间接优势度：给出一个准则，两个指标（组）在准则下对第三个指标（组）（称之为次准则）的影响程度进行比较。例如要比较 A、B 两成员对商品营销能力的优势度，方法之一，可通过他们对董事长所采取的营销策略的影响力比较而间接获得。

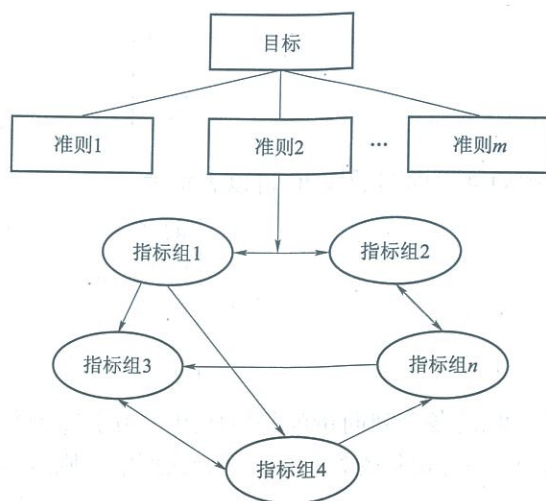


图 5 典型的 ANP 结构



前一种比较适用于指标(组)间互相独立的情形,第二种比较适用于指标(组)间互相依存的情形。由于在 ANP 的网络层中,指标组之间以及指标组中的元素之间往往不是独立的,而是互相依存的,所以间接优势度的比较更为常见。

• 控制指标(组)和被控制(受控)指标(组)

2 分钟

如果有一个箭头从元素组 C_j 连到 C_i , 我们可以把元素组 C_j 称为控制元素组,把元素组 C_i 称为被控制(或受控)元素组。

13.2.3 网络分析法的处理过程与算法

9 分钟

网络分析法(ANP 法)的具体应用过程如下:

(1) 建立网络决策模型:在这一步骤中,如果模型建立者和决策者不是同一个人的话,建立者必须帮助决策者确认元素、元素组,以及它们之间的关系,如图 5 所示。

(2) 两两比较:如前面介绍的,这里的比较是间接优势度的比较。这样的比较分为两个层次:元素组层的和元素层的。在元素组层上,对于每一个控制元素组,它的所有受控元素组都必须以其为次准则进行两两比较。同理,在元素层上,每一个受控元素组里的元素都必须分别以它的每一个控制元素组里的每一个元素作为次准则,进行两两比较。

(3) 权重和最大特征根计算:这一步骤与 AHP 相同,同样是通过求解下列方程得到特征(排序)向量 W :

$$AW = \lambda_{\max} W$$

式中 λ_{\max} 是矩阵 A 的最大特征值,排序向量 W 可以表示为 $(w_{i1}^{(j1)}, \dots, w_{in_i}^{(jl)})$ 。同样,算出的特征权重也是有元素组层和元素层两个层次的。

(4) 构建超矩阵,并对超矩阵进行归一化加权。

以下以图 5 举例对步骤(2)~(4)进行讲解。

假设在准则 2 下,一共有 n 个指标组,第 n 个指标组里有 N_n 个指标。下式是一个超矩阵的例子:

$$W = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & \cdots & N_1 & 1 & \cdots & N_2 & \cdots & 1 & \cdots & N_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ \vdots \\ N_1 \\ 1 \\ \vdots \\ N_2 \\ \vdots \\ 1 \\ \vdots \\ N_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & \cdots & W_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{21} & W_{22} & \cdots & W_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{n1} & W_{n2} & \cdots & W_{nn} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

超矩阵里面的子块 W_{ij} 可以表示为:

$$W_{ij} = \begin{bmatrix} w_{i1}^{(j1)} & w_{i1}^{(j2)} & \cdots & w_{i1}^{(jN_j)} \\ w_{i2}^{(j1)} & w_{i2}^{(j2)} & \cdots & w_{i2}^{(jN_j)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{iN_i}^{(j1)} & w_{iN_i}^{(j2)} & \cdots & w_{iN_i}^{(jN_j)} \end{bmatrix} \quad (i, j = 1, \dots, n)$$

式中, W_{ij} 的各个列向量就是指标组 i 中的 N_i 个元素分别对指标组 j 中 N_j 个元素的影响程度排序向量,若指标组 j 中元素不受指标组 i 中元素影响,则 $W_{ij} = 0$ 。超矩阵的子块 W_{ij} 是列归一化的,但 W 却不是列归一化的。

超矩阵所得到的排序向量都是在指标层上两两比较得到的。下面在指标组层进行讨论。



同样,在准则2下,把各指标组对准则2的重要性进行两两比较,并计算排序向量后得到加权矩阵:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (i, j = 1, \cdots, n)$$

式中, A 的各个列向量就是各指标组 (从指标组 1 到指标组 n) 分别对应于各个指标组 (从指标组 1 到指标组 n) 的影响程度排序向量。其中的元素 a_{ij} ($i, j = 1, \cdots, n$) 代表的是各指标组对于指标组 j 的排序向量中对应于指标组 i 的向量分量, 如果指标组 i 与指标组 j 无关, 则 $a_{ij} = 0$ 。

接着需要用处于指标组层的加权矩阵对处于指标层的超矩阵 W 的元素加权, 得:

$$\bar{W} = (\bar{W}_{ij})$$

其中

$$(\bar{W}_{ij}) = a_{ij} W_{ij} \quad i, j = 1, \cdots, n$$

\bar{W} 就为加权超矩阵, 其列为归一的。

(5) 计算出最后的权重。把加权后的超矩阵按照下式算出最后的权重:

$$W_F = \lim_{P \rightarrow \infty} (\bar{W})^P$$

在 W_F 中, 所有的列都是相同的, 而且每一列的和都为 1。这些列就是各指标在该准则下的最终权重向量。

13.2.4 顶层指标的提法 (实践经验的总结) 课程难点

7 分钟

• 顶层指标的设计 3 分钟

在 AHP/ANP 的基础上, Saaty 提出了包含效益 (Benefits)、机会 (Opportunities)、成本 (Costs)、风险 (Risks) (BOCR) 4 个价值范畴 (维度) 的评价体系框架。在这个框架中, 根据评价指标的性质, 可以把任一指标归到这 4 个范畴之一。分类的标准是:

- (1) Benefits: 比较明显、确定, 短期内会发生, 而且结果为正面的指标。
- (2) Costs: 比较明显、确定, 短期内会发生, 但结果为负面的指标。
- (3) Opportunities: 长期的、不确定或潜在的正面的影响。
- (4) Risks: 长期的、不确定或潜在的负面的影响。

对 BOCR 的处理, 与 ANP 中其他指标的处理类似, 只是在评价网络的最外层, 再加上一层网络关系。

【举例】对信息化进行评价时, 不但需要考虑到它们当前的影响, 以后的潜在影响也是决策时要重点考虑的一个因素; 不但要看到信息化会给企业带来的好处, 也不能小视随之而来的风险。在 BOCR 框架下, 企业可以对信息化的效益有一个全面的了解: 无论是长期还是短期, 是确定或潜在, 是正面还是负面的影响, 都可以一一考虑到。

在 BOCR 每一个维度内, 都可以按照普通 AHP/ANP 的方法构建评价体系, 并算出候选方案在每一个范畴内的结果 (具体步骤参见上面的讨论), 然后再对这 4 个结果进行综合, 得到最终的结果。

• 优先度整合方法

4 分钟

在算出候选方案在每一个维度内的理想优先度后, Saaty 提出了两种办法, 把这 4 个维度内的优先度整合在一起, 得到最终的单一的结果。

第一种:

$$R_i = B_i O_i / C_i R_i$$

式中, R_i 表示第 i 个候选方案的最终结果, 而 B_i , O_i , C_i , R_i 分别代表该方案在这 4 个维度内的理想优先度。在这里默认 BOCR 这 4 个价值范畴是同等重要的。

第二种:

$$R_i = bB_i + oO_i - cC_i - rR_i$$

式中, B_i , O_i , C_i , R_i 代表的含义同上, 而 b , o , c , r 分别是 Benefits, Opportunities, Costs, Risks 这 4 个维度的权重, 这些权重是根据它们对于战略准则的重要性来确定的。

显然, 第二种方法比第一种更有说服力, BOCR 这 4 个维度对于企业战略的重要性不可能是同等重



要的。

由于 AHP/ANP 法可以对大量因素的相对重要性进行评价，所以被广泛用于分析那些涉及多重评价准则的大范围的问题。

【小结】

3 分钟

• 层次分析法与网络分析法的小结

2 分钟

根据前面的 AHP 和 ANP 方法介绍，从多角度总结 AHP 和 ANP 的特点：

- (1) 是一种主观赋值的评价方法，能很好地解决不可计量因素的量化问题。
- (2) 能对具有层次性的多指标的权重通过两两比较后计算得出，而不是任意地给定一个权重。
- (3) 按照下层因素相对上层因素的重要程度进行统一量化。
- (4) 能方便地与其他评价方法结合使用，从而进行方法上的补充和改进。
- (5) 方法简单明了，容易理解。
- (6) 能够比较方便地让评价者/决策者加入到评价过程中。

关键点：通过总结使学生深入理解 AHP 和 ANP 的思想和实现方法。

• ANP 和 AHP 给我们的启示

1 分钟

提出两个开放性问题，启发学生思考：

- (1) Saaty 构建两种决策方法，是出于什么样的考虑？
- (2) AHP 和 ANP 为什么成为应用最广泛的系统评价方法和决策方法？

关键点：启发和引导学生对 AHP 的哲学思想进行深入理解和探究。

【课后作业】

2 分钟

(1) 课程设计：理解课堂上讲解的 AHP 和 ANP 的方法，结合课程设计小组已经完成的方案设计，建立评价模型，对多个方案进行评价。

(2) 思考题：学习其他评价建模方法，并与 AHP 的思想基础进行比较，找出评价方法之间差异产生的原因。