



第2讲 工程管理的不确定分析 方法

The image is a presentation slide with a dark blue central banner. The banner contains the title '第2讲 工程管理的不确定分析方法' in bold yellow text. The background of the slide is a light beige color with a faint, traditional Chinese ink wash painting of a branch with blossoms. The slide is framed by a decorative border at the top and bottom, consisting of a repeating geometric pattern of triangles and circles.

本讲知识点构成：

知识点1. 盈亏平衡分析

知识点2. 敏感性分析

知识点3. 概率分析

知识点4. Monte-Carlo仿真

案例讨论 基于GERT模型的新产品研发项目周期仿真分析

知识点1. 盈亏平衡分析

在线问题：

盈亏平衡点高低说明了什么问题？与线性盈亏平衡分析相比，非线性盈亏平衡分析有何优势？



1. 线性盈亏平衡分析

➤ 线性盈亏平衡分析概念

线性盈亏平衡分析是指，假定工程交付运营后，产品的生产成本和销售价格不随产量而变化，在此基础上，依据一定时期内产量、成本和利润之间的关系，找出一个平衡点 x_a ，在这一点上的收入和支出持平，净收益等于零。

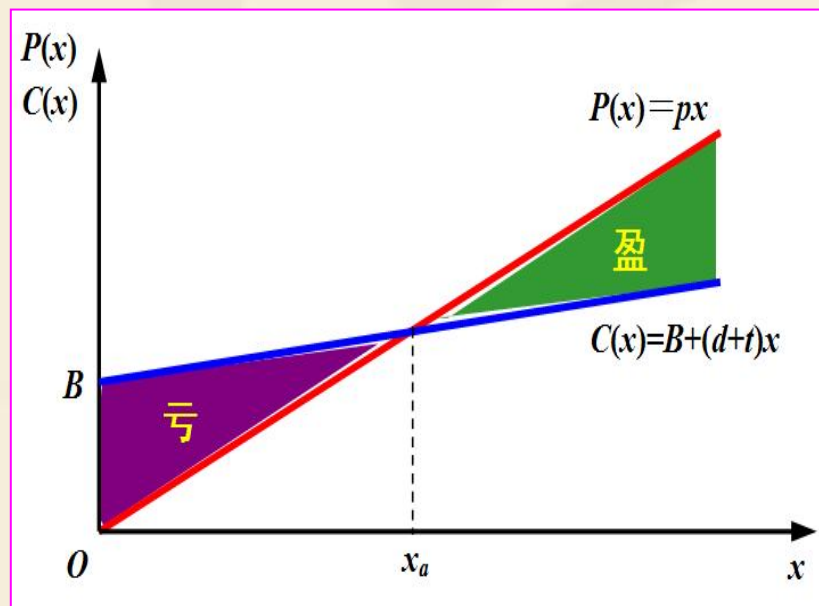
通过**线性盈亏平衡分析**计算出的平衡点，可以量化地评价工程未来的收益情况，以及工程未来收益的抗风险能力，进而为工程的立项决策及运营管理提供支持。

➤ 盈亏平衡点计算

设 p 为产品价格, B 为固定成本, d 为可变成本, t 为单位产品税金, 则

$$x_a = B / (p - d - t)$$

x_a 越小, 则工程的抗风险能力越强。



➤ 线性盈亏平衡分析示例

某集团拟建一新车间，用于生产新产品，该集团对新产品的目标利润 R 为500万元。现有A、B两种方案，相关数据见下表，试比较两个方案的优劣。

方案	固定成本 B (元)	可变成本 d (元)	产品价格 p (元)	税金 t (元)	设计能力 Q (件)
A	25000000	1700	3000	300	50000
B	21000000	2000	3000	300	40000

A方案：

盈亏平衡点25000件；
实现目标利润产量30000件；
设计能力保本价格2500元/件。

B方案：

盈亏平衡点30000件；
实现目标利润产量37143件；
设计能力保本价格2825元/件。

因此，对于该工程来说，A方案的抗风险能力要优于B方案！

2. 非线性盈亏平衡分析

➤ 非线性盈亏平衡分析概念

非线性盈亏平衡分析是指，在假定产品的生产成本和销售价格随着产量（即销量）而变化的条件下，计算工程交付运营后的盈亏平衡点，并由此分析工程的盈利情况及相应的风险大小，进而为工程的立项决策和运营管理提供支持。

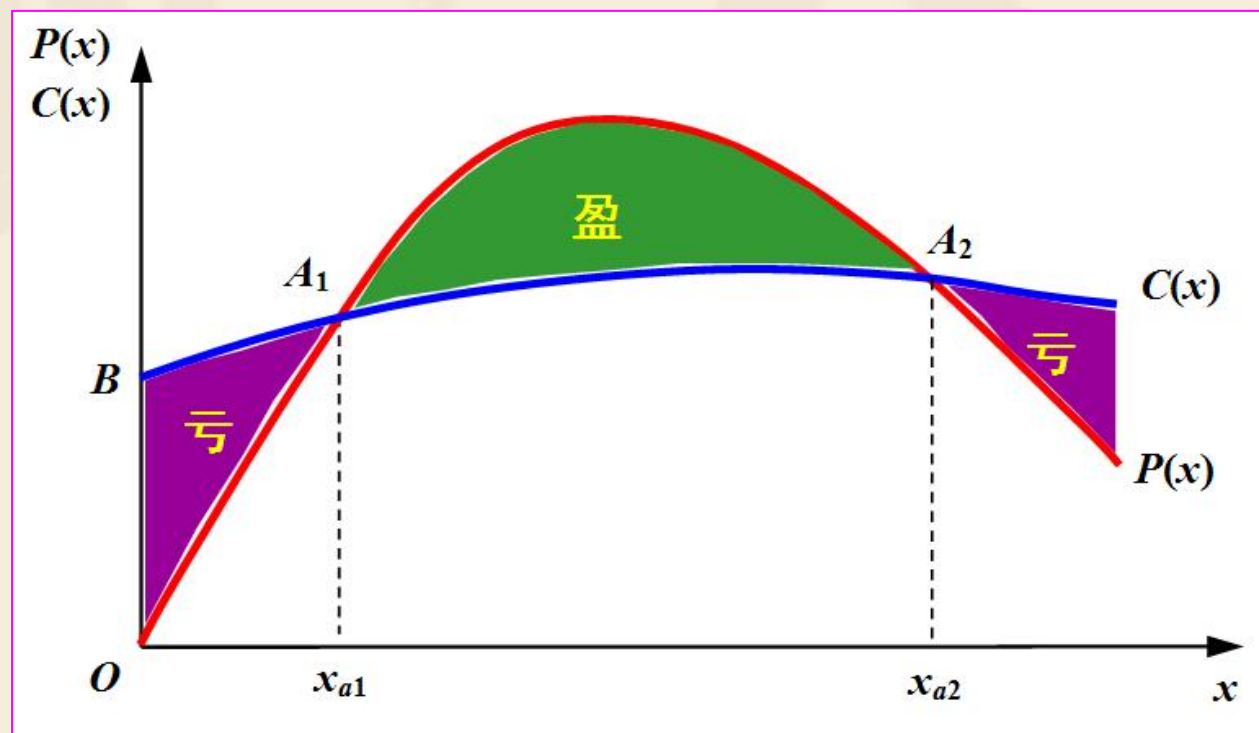
相比于线性盈亏平衡分析来说，非线性盈亏平衡分析的应用条件更接近于现实情况，因而其分析结果更具实用价值。

➤ 非线性盈亏平衡分析示例

某工程投产以后，每年固定成本为8.4万元，单位产品可变成本基数为25元，每多生产一件降低0.001元；单位产品销售价格基数为60元，每多销售一件降低0.002元。求该产品的盈亏平衡点产量。

设产量为 x ，则有单位可变成本 $d=25-0.001x$ ，产品单价 $p=60-0.002x$ ，因此有成本方程： $C(x)=84000+(25-0.001x)x$ ；销售收入方程： $P(x)=(60-0.002x)x$ 。令 $C(x)=P(x)$ ，解方程得盈亏平衡点： $x_{a1}=2592$ ； $x_{a2}=32408$ 。

➤ 非线性盈亏平衡点的形成



在线问题：

盈亏平衡点高低说明了什么问题？与线性盈亏平衡分析相比，非线性盈亏平衡分析有何优势？



知识点2. 敏感性分析

在线问题:

敏感性分析的本质是什么？分析时如何设定影响因素的变化幅度？



1. 敏感性分析概念

➤ **敏感性分析概念**：即指当决策方案中一个或多个因素发生变化时，对整个工程收益或其他指标所带来的变化程度的预测分析。通过**敏感性分析**，可以找到影响工程收益或其他指标的关键因素，由此为工程的预测分析及控制提供支持。

在**敏感性分析**时，根据允许因素变化的多少又可分为**单因素敏感性分析**和**多因素敏感性分析**，前者只允许一个因素发生变化，后者允许多个因素同时发生变化。**敏感性分析**时各因素的变化幅度由人为主观设定，变化幅度设定应符合现实情况。

2. 敏感性分析实施步骤

➤ 工程收益对各影响因素的敏感性分析实施步骤如下：

- (1) 计算基准情况下的净现值和内部收益率；
- (2) 明确影响工程效益的主要因素，如投资成本、建设周期、生产成本、销售价格等；
- (3) 将影响因素变化一定幅度，计算净现值和内部收益率的变化情况；
- (4) 对计算结果进行汇总、比较和分析。

3. 敏感性分析实施步骤

➤ **工程收益敏感性分析示例：**某工程计划投资3000万元，建设期3年，生产期定为15年，工程报废时，残值与清理费正好相等，折现率为10%。其他数据见下表。

某工程项目预期现金流量表			单位：万元
年份	投资成本	生产成本	销售收入
1	500	0	0
2	1500	0	0
3	1000	140	200
4	0	2600	3000
5	0	4500	5000
6~15	0	5400	6000
合计	3000	61240	68200

分析工程收益对于投资成本、建设周期、生产成本、销售价格等关键因素的敏感性，并据此识别工程收益风险。

——基准情况：净现值计算见下表。

基准情况下的净现值					单位：万元	
年份	投资成本	销售收入	生产成本	净现金流量	10%贴现系数	净现值
1	500			-500	0.9091	-454.55
2	1500			-1500	0.8264	-1239.60
3	1000	200	140	-940	0.7513	-706.22
4		3000	2600	400	0.6830	273.20
5		5000	4500	500	0.6209	310.45
6~15		6000	5400	600	3.8153	2289.18
合计	3000	68200	61240	3960		472.46

当贴现率为15%时，可计算出净现值为-212.56万元。因此，令 $R_1=10\%$ ， $R_2=15\%$ ，利用内推法可近似计算出内部收益率为13.414%。

——投资成本增加15%(发生在第1年): **净现值**计算见下表。

投资成本增加 15%(发生在第 1 年)后的净现值						单位: 万元
年份	投资成本	销售收入	生产成本	净现金流量	10%贴现系数	净现值
1	950			-950	0.9091	-863.65
2	1500			-1500	0.8264	-1239.60
3	1000	200	140	-940	0.7513	-706.22
4		3000	2600	400	0.6830	273.20
5		5000	4500	500	0.6209	310.45
6~15		6000	5400	600	3.8153	2289.18
合计	3450	68200	61240	3510		63.36

当贴现率为12%时, 可计算出**净现值**为-251.59万元。因此, 令 $R_1=10\%$, $R_2=12\%$, 利用内推法可近似计算出**内部收益率**为10.42%。

——周期延长1年、投资成本增加100万元：**净现值**计算见下表。

建设周期延长1年、投资成本增加100万元后的净现值						单位：万元
年份	投资成本	销售收入	生产成本	净现金流量	10%贴现系数	净现值
1	500			-500	0.9091	-454.55
2	1400			-1400	0.8264	-1156.96
3	900			-900	0.7513	-676.17
4	300	200	140	-240	0.6830	-163.92
5		3000	2600	400	0.6209	248.36
6~15		6000	5400	600	3.8153	2289.18
合计	3100	63200	65740	3360		85.94

当贴现率为12%时，可计算出**净现值**为-205.05万元。因此，令 $R_1=10\%$ ， $R_2=12\%$ ，利用内推法可近似计算出**内部收益率**为10.59%。

——生产成本上升5%：**净现值**计算见下表。

生产成本上升 5%后的净现值						单位：万元
年份	投资成本	销售收入	生产成本	净现金流量	10%贴现系数	净现值
1	500			-500	0.9091	-454.55
2	1500			-1500	0.8264	-1239.60
3	1000	200	140	-940	0.7513	-706.22
4		3000	2600	400	0.6830	273.20
5		5000	4500	500	0.6209	310.45
6~15		6000	5670	330	3.8153	1259.05
合计	3000	68200	63940	1260		-557.67

当贴现率为5%时，可计算出**净现值**为68.73万元。因此，令 $R_1=5\%$ ， $R_2=10\%$ ，利用内推法可近似计算出**内部收益率**为5.55%。

——产品价格下降5%：**净现值**计算见下表。

产品价格下降 5%的净现值					单位：万元	
年份	投资成本	销售收入	生产成本	净现金流量	10%贴现系数	净现值
1	500			-500	0.9091	-454.55
2	1500			-1500	0.8264	-1239.60
3	1000	200	140	-940	0.7513	-706.22
4		3000	2600	400	0.6830	273.20
5		5000	4500	500	0.6209	310.45
6~15		5700	5400	300	3.8153	1144.5
合计	3000	65200	61240	960		-672.22

当贴现率为5%时，可计算出**净现值**为129.23万元。因此，令 $R_1=5\%$ ， $R_2=10\%$ ，利用内推法可近似计算出**内部收益率**为**5.81%**。

——计算结果汇总：计算结果汇总见下表。

工程收益对 4 个关键因素敏感性分析计算结果汇总表

敏感因素	变化幅度	净现值 (万元)	与基本情况的 差异 (万元)	内部收益 率 (%)	与基本情况差 异 (百分点)
基准情况		472.46	0	13.41	0
投资成本	上升 15%	63.36	-409.10	10.40	-3.01
建设周期	延长一年	85.94	-386.52	10.59	-2.82
生产成本	上升 5%	-557.67	-1030.13	5.55	-7.86
销售价格	下降 5%	-672.22	-1144.68	5.81	-7.6

当投资成本增加15%或建设周期延长1年时，**净现值**仍为正；当未来生产成本增加5%或产品价格下降5%时，**净现值**变为负值，**内部收益率**也大幅下降。所以，工程收益对后两种因素更为敏感。从总体上讲，**该工程收益风险太大，应放弃。**

在线问题:

敏感性分析的本质是什么？分析时如何设定影响因素的变化幅度？



知识点3. 概率分析

在线问题：

根据自己的理解，谈谈概率分析的难点是什么？以及怎样提高概率分析结果的可靠性？



1. 概率分析概念

➤ **概率分析概念**：即用概率方法对工程的不确定性因素，及其影响下的工程收益或其他指标进行定量分析。在进行**概率分析**时，需要估计工程不确定因素所导致的各种自然状态的发生概率（或概率密度函数），以及在这些状态（分布）下工程收益或其他指标的取值大小。

与在敏感性分析中参数的各种取值由人为主观设定不同，概率分析中的参数取值是通过数据统计（客观概率），或相关专家主观分析判断（主观概率）得到，所以，概率分析比敏感性分析要更为合理、科学。

2. 概率分析实施步骤

➤ **概率分析实施步骤**如下：

- (1) 在各种不确定因素中，经过分析判断先选出一个影响程度最大的因素，将其他几个因素假定为确定因素；
- (2) 估计这种不确定因素可能出现的自然状态的概率；
- (3) 计算不确定因素的期望值；
- (4) 计算不确定因素的方差和标准差；
- (5) 再选择下一个不确定因素，重复上述步骤进行分析。

3. 概率分析实施示例

➤ **概率分析实施示例：**某工程未来投产后年产量为150万件，其投资额、产品售价和年经营成本可能发生的情况及概率见表1~3。工程寿命周期12年，贴现率为10%，投资者的期望收益为850万元，净现值率不低于30%。试进行概率分析，计算净现值的期望值，并作出投资与否决策。

表 1 投资数值及概率估算表

年 份	第一年		第二年	
可能情况	I 按计划完成	II 返工	I 按计划完成	II 返工
概 率	0.8	0.2	0.7	0.3
投资额 (万元)	1000	1200	2000	2400

表 2 产品售价及概率估算表

年 份	第 3~12 年		
可能情况	I 激烈竞争	II 一般竞争	III 无竞争
概 率	0.2	0.6	0.2
产品售价 (元/件)	6	7	8

表 3 年经营成本及概率估算表

年 份	第 3~12 年		
可能情况	I 激烈竞争	II 一般竞争	III 无竞争
概 率	0.2	0.6	0.2
经营成本 (万元)	450	350	250

——投资数值概率分析

年 份	第一年		第二年	
可能情况	I 按计划完成	II 返工	I 按计划完成	II 返工
概 率	0.8	0.2	0.7	0.3
投资额（万元）	1000	1200	2000	2400
投资额期望值（万元）	$1000 \times 0.8 + 1200 \times 0.2 = 1040$		$2000 \times 0.7 + 2400 \times 0.3 = 2120$	

——产品售价概率分析

年 份	第 3~12 年		
可能情况	I 激烈竞争	II 一般竞争	III 无竞争
概 率	0.2	0.6	0.2
产品售价 (元/件)	6	7	8
销售收入期望值(万元)	$(6 \times 0.2 + 7 \times 0.6 + 8 \times 0.2) \times 150 = 1050$		

——经营成本概率分析

年 份	第 3~12 年		
可能情况	I 激烈竞争	II 一般竞争	III 无竞争
概 率	0.2	0.6	0.2
经营成本（万元）	450	350	250
经营成本期望值(万元)	$450 \times 0.2 + 350 \times 0.6 + 250 \times 0.2 = 350$		

——期望净现值估算

年 份	1	2	3~12	合计
投资额（万元）	1040	2120		3160
经营成本（万元）	0	0	350	3500
销售收入（万元）	0	0	1050	10500
净现金流量（万元）	-1040	-2120	700	3840
10%贴现系数	0.9091	0.8264	5.0782	
净现值（万元）	-945.464	-1751.968	3554.74	857.31
净现值率	$857.31 \div (945.464 + 1751.968) \times 100\% = 31.78\%$			

——结论：净现值为857.31万元>850万元(期望净现值)；净现值率为31.78%>30% (期望净现值率)。所以，该工程可行。

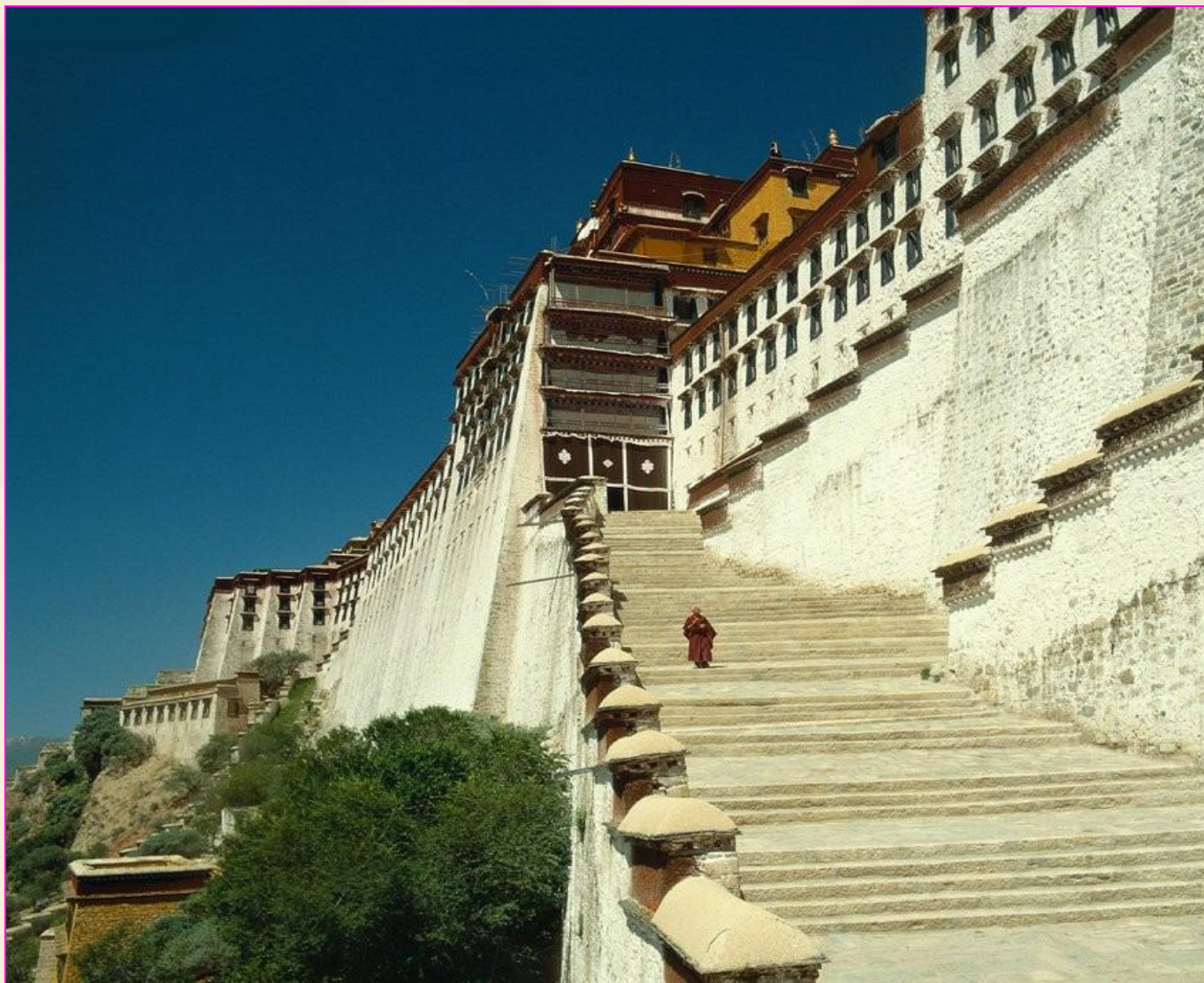
在线问题：

根据自己的理解，谈谈概率分析的难点是什么？以及怎样提高概率分析结果的可靠性？





知识点4. Monte-Carlo仿真



在线问题:

Monte-Carlo仿真适用于什么样的现实情形下? 根据自己的理解, 谈谈该方法用于工程管理分析有何优势和不足?

1. Monte-Carlo仿真的相关概念

➤ **Monte-Carlo仿真相关概念**：模拟，也称仿真，是将所研究的对象用计算机进行实现的一种技术。在工程风险估计中，面对物理模型所遇到的困难或者成本过高的问题，可以采用仿真的方法，通过构造描述客观世界的数学模型，在计算机上做实验，以估计风险并获得风险描述的相关信息。

工程风险**蒙特卡罗 (Monte-Carlo) 仿真**，又称为统计表试验法，是一种根据统计理论，利用计算机来研究和分析风险的数值计算方法。

➤ **Monte-Carlo仿真基本原理**：已知描述工程变数 $X_1, X_2, \dots, X_n$ 风险状态的概率分布，以及工程目标 G 与变数之间的函数关系 $G=g(X_1, X_2, \dots, X_n)$ 。 (函数关系可以是准确的数学表达式如净现值计算公式，也可能是给定的计算步骤和流程。

利用抽样技术生成符合给定概率分布的一组工程变数抽样样本 $x_1, x_2, \dots, x_n$ ，将其代入函数关系 $G=g(X_1, X_2, \dots, X_n)$ ，得到工程目标 G 的一个计算结果。

抽样计算反复进行 N 次(N 即为仿真次数)，得到 N 个工程目标 G 的计算结果，对所 N 个计算结果进行统计分析。

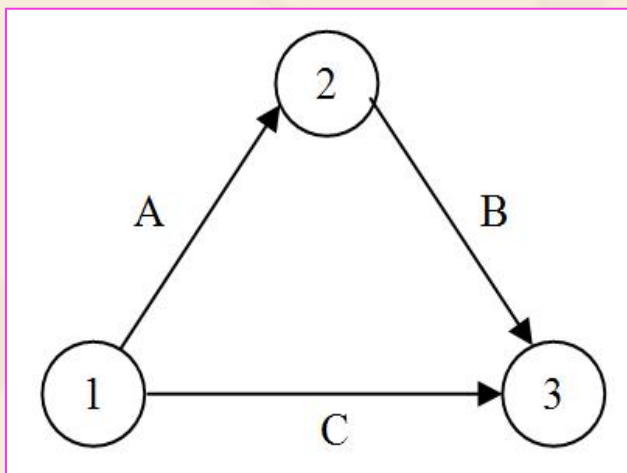
➤ Monte-Carlo仿真实施步骤

1. **风险数据收集与统计检验.** 收集各风险因素的相关数据, 对其进行加工分析, 估计它们的分布函数和分布参数, 并做统计检验, 确定风险因素的分布函数及其参数.
2. **建立风险问题的仿真模型.** 首先要明确解决问题的实质, 确定分析计算的目标, 以及把握与分析计算的相关的环境、条件等基本问题; 其次将其抽象, 建立数学模型或计算流程图; 最后得到计算机能够接受的计算程序.
3. **仿真次数确定.** 根据工程风险分析的精度要求, 确定仿真次数 N .

4. **产生伪随机数.** 根据所确定的诸随机变量 $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ 的分布类型和参数, 随机抽取一组与随机变量 $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ 相对应的随机数 $x_1, x_2, \dots, x_n$.
5. **计算目标样本值.** 根据所建立的数学模型或计算流程图计算出目标样本值, 即得到一个随机事件的样本值.
6. **重复计算.** 重复执行3、4两步 N 次, 取得 N 个目标样本值.
7. **结果分析.** 对得到的 N 个目标样本值进行统计分析, 得到分布曲线, 并检验其概率分布, 估计其均值和标准差.

2. Monte-Carlo仿真示例

某项目由如下图所示的A、B、C三个工序(活动)组成，由于风险因素的影响，三个活动的工期均为离散型随机分布，具体数据见下表. 试用Mote-Carlo方法对项目工期进行仿真分析.



工序代号	工序时间（周）	概率
A	20	0.5
	30	0.5
B	15	0.6
	25	0.4
C	40	0.5
	50	0.5

➤ 活动持续时间抽样

从 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 这十个数中随机抽样。由于有三个工序，所以每次抽三回。第一、第二和第三回抽到的数分别代表工序 A 、 B 和 C ：

- 对于工序 A ，抽到的数若是 0、1、2、3、4 这 5 个数中的任何一个，则工序 A 的时间是 20 周，若抽到 5、6、7、8、9 这 5 个数中的任何一个，则工序 A 的时间是 30 周。
- 对于工序 B ，抽到的数若是 0、1、2、3、4、5 这 6 个数中的任何一个，则工序 B 的时间是 15 周，若抽到 6、7、8、9 中的任何一个，则工序 B 的时间取 25 周。
- 对于工序 C ，若抽到 0、1、2、3、4 中的任何一个，则工序 C 的时间取 40 周，抽到的数若是 5、6、7、8、9 中的任何一个，则工序 C 的时间取 50 周。

➤ 仿真结果

模拟抽样 表编号	抽样产生 的随机数	A 工序时 间 (周)	B 工序时 间 (周)	C 工序时 间 (周)	关键路线	项目总工 期 (周)
1	554	(30)	(15)	40	A,B	45
2	135	20	15	(50)	C	50
3	575	(30)	(25)	50	A,B	55
4	697	(30)	(25)	50	A,B	55
5	563	(30)	(25)	40	A,B	55
6	729	30	15	(50)	C	50
7	848	30	15	(50)	C	50
8	431	20	15	(40)	C	40
9	767	(30)	(25)	50	A,B	55
10	416	20	15	(50)	C	50
11	025	20	15	(50)	C	50
12	896	(30)	(25)	50	A,B	55
13	462	(20)	(25)	40	A,B	45
14	700	(30)	(15)	40	A,B	45
15	077	20	25	(50)	C	50
16	007	20	15	(50)	C	50
17	000	20	15	(40)	C	40
18	585	(30)	(25)	50	A,B	55
19	543	(30)	(15)	40	A,B	45
20	553	(30)	(15)	40	A,B	45

注：括号内数字表示该工序成为关键工序时的时间。

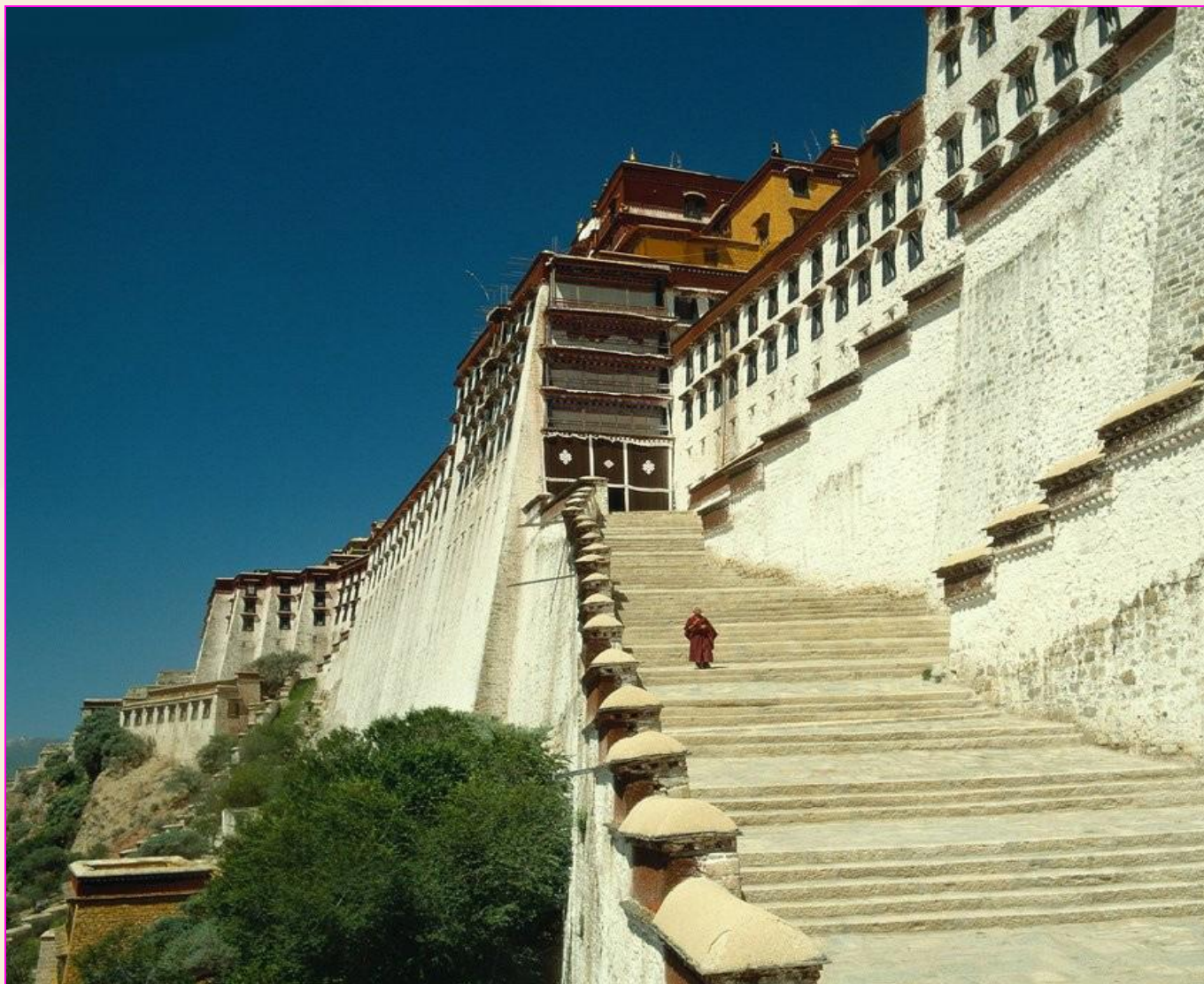
➤ 统计分析

项目总工期 t (周)	模拟结果 (次)	概率估计	概率估计累计值
40	2	0.1	0.10
45	5	0.25	0.35
50	7	0.35	0.70
55	6	0.30	1.00

若限定工期 $S_d=50$ 天，则根据表中的数据可以得到：

$$P\{t \leq 50\} = 0.70$$

即项目在 50 天内完工的概率是 70%。



在线问题:

Monte-Carlo仿真适用于什么样的现实情形下? 根据自己的理解, 谈谈该方法用于工程管理分析有何优势和不足?

案例讨论 基于GERT模型的新产品 研发项目周期仿真分析