

# 第三部分 项目现金流量的扩展分析

## 第10章 管理项目的不确定性

周光辉 教授

中国科学院大学经济与管理学院



# 太阳能：值得冒险吗

- 为了通过绿色就业来刺激经济增长，奥巴马政府推行了一系列联邦补贴。同许多其他国家一样，美国在其政治议程中高度重视绿色能源。在努力寻找比化石能源污染少的国内能源过程中，从太阳中获取能源的方法可能非常具有吸引力。这一点在政府实施更为严格的空气质量标准，以及消费者的环保意识不断加强时尤为正确。
- 在美国，太阳能电力占电力总消费不足1%，这相当于年均2500兆瓦光伏（PV）的发电量。政府目标之一是将美国公司从太阳能产业的小微角色转变为太阳能电力这个竞争日益激烈的电力来源的主要生产商。

- 索比太阳能公司实施太阳能项目最大的风险是什么？尽管该公司对未来几年持有乐观的收入预测，但其需要对两个问题给予极大关注。其一是需求——如果需求不存在，那么伴随着12.5亿美元投资的金融风险的程度有多大？其二是技术难题，即如何提升电转化效率使其高于索比太阳能公司现有薄膜电池的转化率（11%）。索比太阳能公司应该用何种方法来权衡与技术相关的风险和成本？

- 项目存在不确定性。管理者极少对某一特定项目未来的现金流量有明确的预期。最好的情形是公司能够合理预期未来成本和收益的可能范围以及与获得合理投资回报相对应的机会。
- 用风险来描述一个现金流量不能事先确定，但可以估计其一组结果及其概率（可能性）的投资项目。使用**项目风险**一词来指代一个项目净现值的易变性。项目风险越高意味着预期项目  $NPV$  的变化越大。将风险视为损失的可能性。

# 10.1 项目风险的来源

- 在决定是否作出重大资本投资时，一个企业必须考虑并评估若干因素，这些因素大都具有**不确定性**，包括**产品市场的总体规模、公司所能获得的市场份额、市场的成长空间、生产成本、产品售价、产品的使用期限、所需设备的成本及其使用期限和实际税率**。
- 一个常用的方法是为每一个不确定因素给出一个最佳估计量，然后对盈利能力的度量值，例如项目的*NPW*或收益率，进行计算。

- 对项目进行评估时需要考虑若干不确定性很大的因素。一般对每个不确定因素给出最佳估计量然后进行计算。这种方法存在不足：
  - 不能保证最佳估计量能永远与实际值相符。
  - 没有制定一种规则并用来衡量投资所伴随的风险或项目的风险，管理者无法确定项目亏损或产生巨额利润的概率。

- 通常用数值概率或出现的概率（可能性）来对风险进行定量描述。概率用0~1的小数表述，一个肯定要发生的事件或结果的概率为1，一个事件的概率越接近0，事件越不可能发生。
- 评估投资项目出现各种结果的概率的过程通常被称为**风险分析**。

## 10.2 描述项目风险的方法

- 通过确定项目现金流量自身的不确定性来分析项目风险。从非正式判断到复杂的经济和统计分析，可以采用很多方法。将介绍**三种确定项目风险的方法**：
  - 敏感性分析；
  - 盈亏平衡分析；
  - 情景分析。

- 10.2.1 敏感性分析
- 敏感性分析是一种可以用来感知一个投资项目所有可能结果的技术，通过设定关键可变因素的不同取值来观测投资结果对于这些不同取值的敏感程度。敏感性分析是一种评估投资项目风险的方法。

- 敏感性分析也称为**假定分析**，步骤为：
  - 始于一个基本情景，为每个输入变量设定最可能值，然后使某个感兴趣的特定变量围绕其最可能值上下浮动一定百分比，同时保持其他变量不变。
  - 针对每个变化值，计算新的*NPW*。对敏感性分析结果绘制敏感性分析图。斜率越大，则*NPW*对特定变量的变化越敏感。敏感性分析图能够识别对最终结果影响最大的关键变量。

## 例10.1 敏感性分析：识别影响项目最低期望收益的最关键变量

- 凯普斯通燃气轮机公司是世界上领先的微型燃气轮机的微型热电联供(同时提供热能和电力)系统提供商，该系统致力于提供清洁、可持续的分布式发电解决方案。微型热点联供装置是一个小巧紧凑的可以将电力入网或直接传送至需要用电的地方的涡轮发电机。这种分布式发电技术可以使用各种气态或液态燃料，其于1998年开始了商业化应用之路。

- 凯普斯通公司正在考虑讲一个改进的、但尺寸偏小的系统组件用  
来给偏远地区的度假村中的居民供电。该项目初始投资5500万美  
元，但凯普斯通公司的管理者对此项目也有担忧，主要是因为分  
析过程中发现存在诸多难以考量的不确定因素。其中之一是初始  
市场规模，另一个是项目寿命期内市场的成长空间。该公司以及  
为该项目准备了如下财务数据：

现金流量的关键可变因素	低值(美元)	最可能值(美元)	高值(美元)
市场的初始规模(单位), 第1年	1000	1500	20000
市场增长率 (每年)	3%	5%	8%
单价	72000	80000	86000
单位变动成本	56000	60000	65000
固定成本(每年), 不含折旧费	6500000	8000000	9000000
残值	4000000	7000000	8000000

- 初始投资可以通过7年MACRS进行折旧，该项目预期有5年的经济寿命期。由于能源产业的技术正发生迅速变化，所以产品的寿命相对较短。已知公司的边际税率为40%，MARR为15%。
- (a) 依据假设的最可能值来估算项目寿命期内的现金流量序列。
- (b) 针对每一可变因素进行敏感性分析，并绘制敏感性分析图。

- 分析：
  - 下表给出了凯普斯通公司依据最可能值所预期的但最终不确定的现金流量。年收入和年支出通过下面的关系式进行计算：  
收入 = 市场规模 × 单价 ×  $(1 + \text{增长率})^{n-1}$ ; 成本 = 市场规模 × 单位变动成本 ×  $(1 + \text{增长率})^{n-1}$  + 固定成本(不含折旧费)
  - 如果按照预期发展，那么该项目的*NPW*为11107000美元。假设凯普斯通公司对该项目的收入预期不是特别有把握。公司管理者认为如果产品在美国市场表现不佳，凯普斯通公司就需要将设备卖到以欧洲为主的国外市场。但是在国外市场仍然不能

确保会成功。在着手该项目之前，公司需识别出决定项目成败的关键因素。

- 在定义市场规模、增长率、单价、单位变动成本、固定成本和残值后，我们对这些关键的输入变量进行敏感性分析。我们将以一定的百分比依次改变某一变量，然后观测这些变动对最终结果产生什么影响。如果影响较大，则说明结果对变化敏感。我们的目标是找出这些最敏感的可变因素。
- 已知：关键输入变量的取值范围和下表给出的基于最可能值计算的现金流量。
- 求： (a) 哪个输入变量是最关键的？ (b) 绘制敏感性分析图。

**Cash Flows for Capstone's MicroCHP Project, Based on Most Likely Estimates (unit: \$000, except demand)**

	A	B	C	D	E	F	G
1							
2							
3							
4	<b>Input Data (Base):</b>			<b>Sensitivity Analysis:</b>			
5							
6	Unit Price (\$)	80.00		Category		% Change	
7	Demand	1500		Unit price		0%	
8	Growth rate	5%		Growth rate		0%	
9	Var. cost (\$/unit)	60.00		Demand		0%	
10	Fixed cost (\$)	8000		Var. cost (unit)		0%	
11	Salvage (\$)	7000		Fixed cost		0%	
12	Tax rate (%)	40%		Salvage		0%	
13	MARR (%)	15%					
14				Output (PW)		\$11,107	
15							
16							
17		0	1	2	3	4	5
18	<b>Income Statement</b>						
19							
20	Revenues:						
21	Unit Price	\$ 80	\$ 80	\$ 80	\$ 80	\$ 80	\$ 80
22	Demand (units)	1500	1575	1654	1736	1823	
23	Sales Revenue	\$ 120,000	\$ 126,000	\$ 132,300	\$ 138,915	\$ 145,861	
24	Expenses:						
25	Unit Variable Cost	\$ 60	\$ 60	\$ 60	\$ 60	\$ 60	\$ 60
26	Variable Cost	90,000	94,500	99,225	104,186	109,396	
27	Fixed Cost	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	
28	Depreciation	7,860	13,470	9,620	6,870	2,453	
29							
30	Taxable Income	\$ 14,141	\$ 10,031	\$ 15,456	\$ 19,859	\$ 26,012	
31	Income Taxes (40%)	5,656	4,012	6,182	7,944	10,405	
32							
33	Net Income	\$ 8,484	\$ 6,018	\$ 9,273	\$ 11,916	\$ 15,607	
34							
35	<b>Cash Flow Statement</b>						
36							
37	Operating Activities:						
38	Net Income	\$ 8,484	\$ 6,018	\$ 9,273	\$ 11,916	\$ 15,607	
39	Depreciation	\$ 7,860	\$ 13,470	\$ 9,620	\$ 6,870	\$ 2,453	
40	Investment Activities:						
41	Investment	\$ (55,000)					
42	Salvage						
43	Gains Tax						
44							
45	Net Cash Flow	\$ (55,000)	\$ 16,344	\$ 19,488	\$ 18,893	\$ 18,785	\$ 28,152
46							
47	IRR=	23%		=IRR(B45:G45,10%)			
48	PW(15%) =	\$ 11,107					
49							
50							
51							

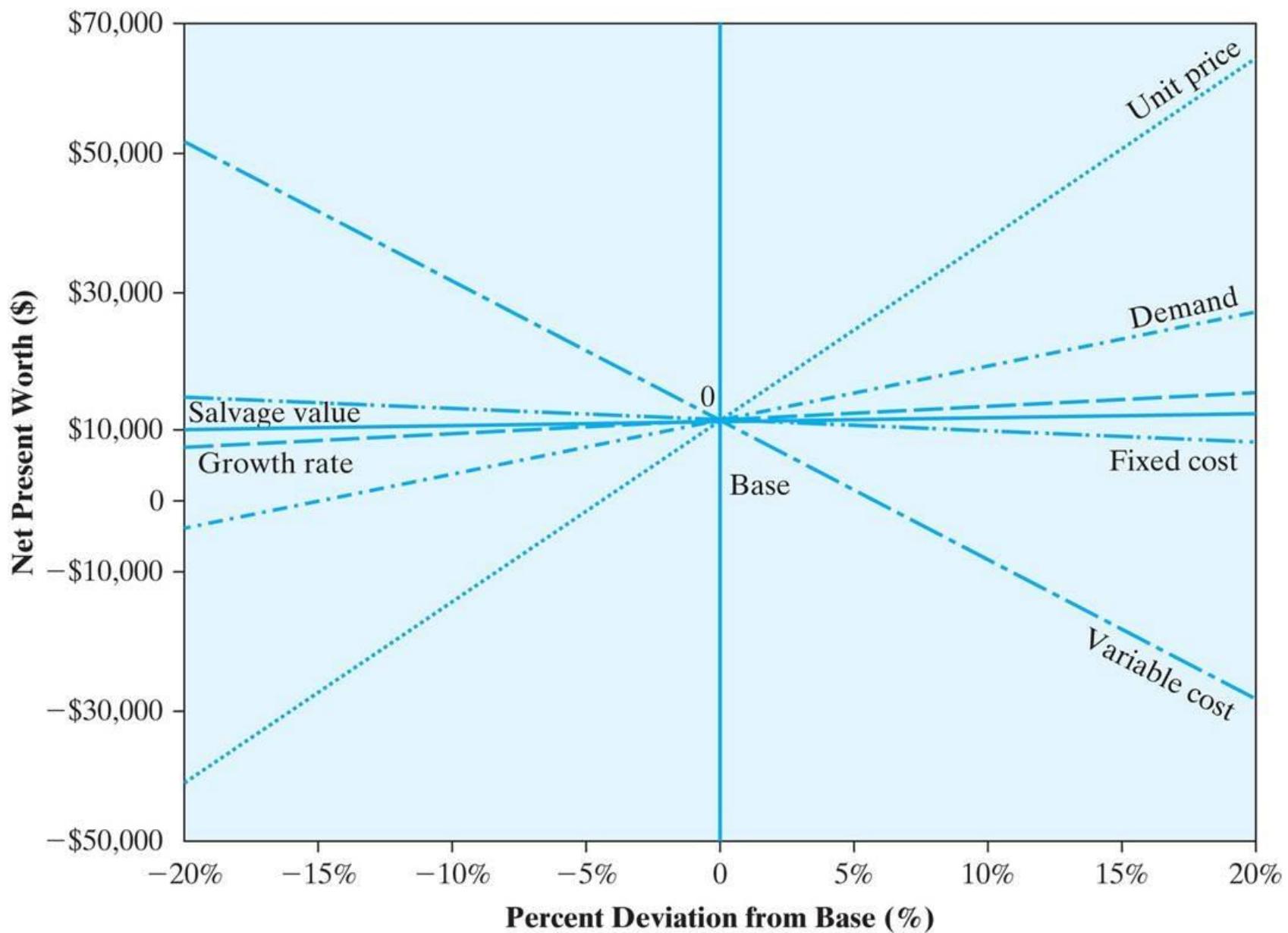
- 求解：
  - (a) 敏感性分析：我们首先进行在基本情景下的敏感性分析，它反映了每个输入变量的最可能值(期望值)。在拓展的下表中，我们将以5%的步幅围绕基本情景对给定变量上下各变动20%。然后在保持其他变量不变的情况下，计算新的*NPW*。现在我们提出一系列问题：如果销量低于预期值20%会怎样？如果运营成本低于预期值20%会怎样？如果单价从80000美元降至64000美元（降幅20%）会怎样？下表汇总了变动这些关键输入变量后的结果。

○ (b) 敏感性分析图：下图给出了凯普斯通公司项目的6个关键输入变量的敏感性分析图。横坐标为1(或0偏差)的圆点对应基本情景的*NPW*。接下来，将产品需求的量降至基本情景的95%，并保持其他变量都是基本情景下的值，重新计算*NPW*。重复上述过程，降低或增加相应的基本值偏移量，就可以得到改变单价、单位变动成本、固定成本和残值的曲线。

## 6个关键输入变量的敏感性分析

	关键输入变量	单价(美元)	需求量	增长率	变动成本(美元)	固定成本(美元)	残值(美元)
基本情景	-20%	(40520)	(2050)	9978	50577	14325	10689
	-15%	(28363)	1239	10258	40709	13520	10794
	-10%	(15207)	4528	10540	30842	12716	10898
	-5%	(2050)	7818	10823	20974	11911	11002
	0%	11107	11107	11107	11107	11107	11107
	5%	24263	14396	11392	1239	10302	11211
	10%	37420	17685	11679	(8628)	9498	11316
	15%	50577	20974	11967	(18496)	8693	11420
	20%	63733	24263	12257	(28363)	7889	11524

评：在下图中，我们可以看出项目的*NPW*：①对于单价和变动成本非常敏感；②对于需求也相当敏感；③对于增长率、固定成本、残值相对不敏感。类似于下图所示的图形表达方式提供了一种有用的描述*NPW*相对于不同变量的敏感性的方法。但是，敏感性分析图并没有解释变量间的相互作用以及出现基于基本情景的各种变动的可能性。一定有这样的情形，一个项目可能对两个可变因素中的任何一个都不是非常敏感，却可能对两者的组合变动非常敏感。



- 10.2.2 互斥方案的敏感性分析
- 当我们进行互斥方案的敏感性分析时，绘制所有输入变量在各自的取值范围内变动的*NPW*图（或者其他测量指标，如*AE*）。即为每一个变量绘制一条直线，在横坐标上给出这个输入变量的单位。

## 例10.2 互斥方案的敏感性分析

- 一个美国本土的邮政局正考虑购买一个4000磅的铲车用于处理邮政包裹。铲车一般是以汽油、液化石油气(LPG)或柴油为燃料。但是电池供电的电力铲车由于其经济和环境优势在许多工业部门中日渐流行。因此，邮政局对不同类型铲车之间的对比产生了兴趣。每种类型铲车的购置费用，年度运营费用以及维修成本由当地的公共事业公司提供。年度燃油量以及维修成本以每年的班次数来计算，每一班等价于8小时的营运时间。下表给出了对4种铲车可变因素的比较：

- 邮政局不能准确知道每年的班次数，但预计在200-260次。由于美国邮政局不需缴纳所得税，所以无须折旧和税务的相关信息。美国政府用10%的折现率来评估此类项目。绘制敏感性分析图来说明如何根据每年班次数的变化来对备选方案做出最优的选择。
- 分析：
  - 有两个年成本的组成部分与成本问题相关：①所有权成本（资本成本）；②运营成本（燃料和维修成本）。由于运营成本已经以年度为基准给出，我们仅需确定每个备选方案的等额年所有权成本。

- 已知：财务数据如表所示，利率为10%，运营班次的变动范围。
- 求：从班次数的函数来看，哪个方案是最优的。

	电力	LPG	汽油	柴油
预期寿命	7年	7年	7年	7年
原始成本(美元)	30000	21000	20000	25000
残值(美元)	3000	2000	2000	2200
每年最大班次数	260	260	260	260
燃料消耗/班	32千瓦时	12加仑	11加仑	7加仑
燃料成本/单位(美元)	0.20/千瓦时	3.15/加仑	3.60/加仑	3.95/加仑
燃料成本/班(美元)	6.40	37.80	39.60	27.65
年度维修费				
固定成本(美元)	500	1000	1200	1500
变动成本/班(美元)	5	6	7	9

- 求解：
  - (a) 所有权成本(资本成本)：

电 力 :  $CR(10\%) = (30000 - 3000)(A/P, 10\%, 7) + 0.10 \times 3000 = 5845$ (美元)

LPG :  $CR(10\%) = (21000 - 2000)(A/P, 10\%, 7) + 0.10 \times 2000 = 4103$ (美元)

汽 油 :  $CR(10\%) = (20000 - 2000)(A/P, 10\%, 7) + 0.10 \times 2000 = 3897$ (美元)

柴 油 :  $CR(10\%) = (25000 - 2200)(A/P, 10\%, 7) + 0.10 \times 2200 = 4903$ (美元)

- (b) 年运营成本：我们可以将年运营成本表示为年班次 ( $M$ ) 的函数，并加入燃料和维修费占变动成本和固定成本的比例：

$$\text{电力: } 500 + (6.40 + 5)M = 500 + 11.40M$$

$$\text{LPG: } 1000 + (37.80 + 6)M = 1000 + 43.80M$$

$$\text{汽油: } 1200 + (39.60 + 7)M = 1200 + 46.6M$$

$$\text{柴油: } 1500 + (27.65 + 9)M = 1500 + 36.65M$$

- (c) 总费用年值：等于所有权成本与运营成本之和：

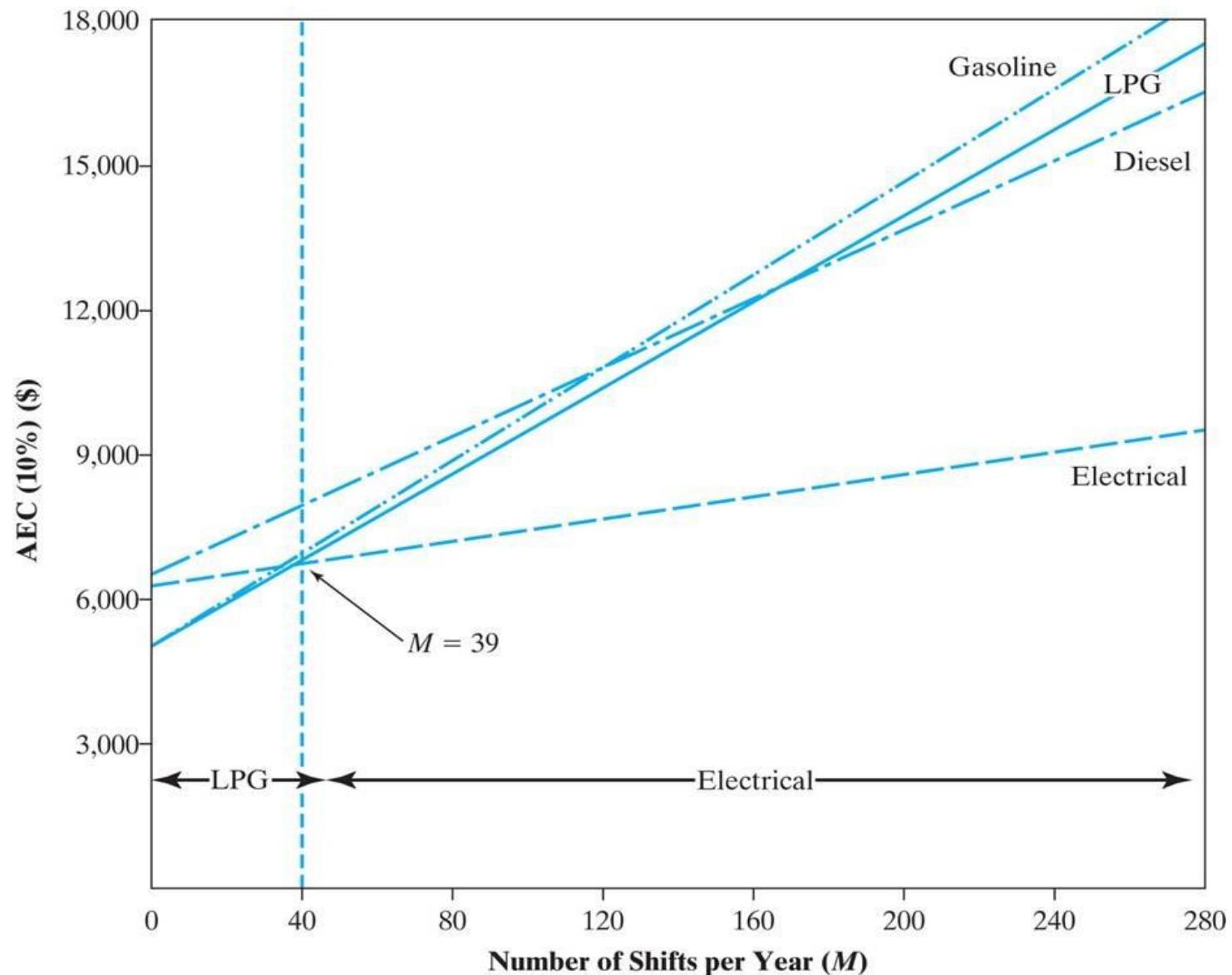
$$\text{电力: } AEC(10\%) = 6345 + 11.40M$$

$$\text{LPG: } AEC(10\%) = 5103 + 43.80M$$

$$\text{汽油: } AEC(10\%) = 5097 + 46.60M$$

$$\text{柴油: } AEC(10\%) = 6403 + 36.65M$$

- 在下图中，这4个费用年值被绘制成班次数 $M$ 的函数。从途中可以看出，当班次数超过大约39时，电力铲车具有合理的经济性。如果班次数低于39， $LPG$ 铲车在经济上是最可行的方案。根据与电力铲车的成对比较，无论 $M$ 取何值，柴油铲车都不是可行方案。

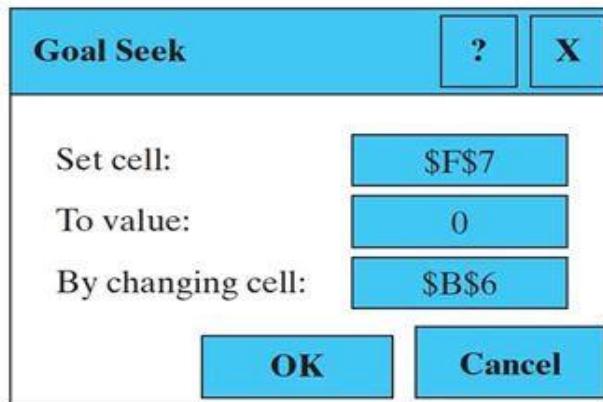


- 10.2.3 盈亏平衡分析
- 当我们对一个项目进行敏感性分析时，我们会关心较低的收入或较高的成本将会对项目的盈利性产生多严重的影响。管理者有时更想知道销量下降到低于预测多少时，项目将面临亏损。这种类型的分析被称为**盈亏平衡分析**。

## 例10.3 Excel的盈亏平衡分析

- 从例10.1中讨论的敏感性分析中，凯普斯通公司的管理者确信净现值对于价格的变动最为敏感。那么接下来，我们对价格进行盈亏平衡分析。
- 分析：
  - 下表所显示的税后现金流量与例10.1表基本相同。这个表仅是Excel中的一个工作表，在里面可变因素现金流量作为输入变量的函数。这里，我们想要求解的是使净现值等于0的最小单价。

- 已知：例10.1表中给出的现金流量表。
  - 求：盈亏平衡单价。
- 
- 求解：
    - 应用Excel中的单变量求解函数求解盈亏平衡单价。



### Break-Even Analysis Using Excel's Goal Seek Function (unit: \$000)

	A	B	C	D	E	F	G
2							
3							
4	<b>Input Data (Base):</b>		<b>Output Analysis</b>				
5							
6	Unit Price (\$)	76.62			IRR=	15%	
7	Demand	1500			PW(15%) =	\$ -	
8	Growth rate	5%					
9	Var. cost (\$/unit)	60.00					
10	Fixed cost (\$)	8000					
11	Salvage (\$)	7000					
12	Tax rate (%)	40%					
13	MARR (%)	15%					
14							
15							
16							
17		0	1	2	3	4	5
18	<b>Income Statement</b>						
19							
20	Revenues:						
21	Unit Price	\$ 76.62	\$ 76.62	\$ 76.62	\$ 76.62	\$ 76.62	
22	Demand (units)	1500	1575	1654	1736	1823	
23	Sales Revenue	\$ 114,935	\$ 120,682	\$ 126,716	\$ 133,051	\$ 139,704	
24	Expenses:						
25	Unit Variable Cost	\$ 60	\$ 60	\$ 60	\$ 60	\$ 60	
26	Variable Cost	90,000	94,500	99,225	104,186	109,396	
27	Fixed Cost	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	
28	Depreciation	7,860	13,470	9,620	6,870	2,453	
30	Taxable Income	\$ 9,075	\$ 4,712	\$ 9,871	\$ 13,996	\$ 19,855	
31	Income Taxes (40%)	3,630	1,885	3,948	5,598	7,942	
33	Net Income	\$ 5,445	\$ 2,827	\$ 5,923	\$ 8,397	\$ 11,913	
34							
35	<b>Cash Flow Statement</b>						
36							
37	Operating Activities:						
38	Net Income	\$ 5,445	\$ 2,827	\$ 5,923	\$ 8,397	\$ 11,913	
39	Depreciation	\$ 7,860	\$ 13,470	\$ 9,620	\$ 6,870	\$ 2,453	
40	Investment Activities:						
41	Investment	\$ (55,000)					
42	Salvage					\$ 7,000	
43	Gains Tax					\$ 3,092	
45	Net Cash Flow	\$ (55,000)	\$ 13,305	\$ 16,297	\$ 15,542	\$ 15,267	\$ 24,458
46							
47							
48							

- 10.2.4 情景分析
- **情景分析**既考虑了 $NPW$ 相对于关键变量的敏感程度，又考虑了其对于变量可能值变动范围的敏感性的一种技术。
  - 例如，当决策者考虑两种极端情况，一个最差情景（低销量、低单价、高单位变动成本、高固定成本等）和一个最优情景。然后计算最差和最优情景下的 $NPW$ 值，并于期望的基本情景下的净现值做比较。

## 例10.4 情景分析

- 再次考虑例10.1中的凯普斯通公司的微型热电联供项目。已知6个关键输入变量（市场规模、市场增长率、单价、单位变动成本固定成本和残值）的三点估计量。市场部和工程部的员工提出来三种情景，如下表所示。
- 假设该公司管理者对项目寿命期、税率和MARR等变量估计非常准确，并且认为销量低于1000或高于2000都不太可能发生。因此，用缩减500单位的年度销量来定义下限，即最差情景，用提升500单位的年度销量来定义上限，即最优情景。同理，其他投入的估计也可进行类似的假定。讨论最差和最优情景。

考虑的变量	最差情景	最可能情景	最优情景
市场规模	1000	1500	2000
市场增长率	3%	5%	8%
单价(美元)	72000	80000	86000
单位变动成本(美元)	65000	60000	56000
固定成本(美元)	9000000	8000000	6500000
残值(美元)	4000000	7000000	8000000

- 分析：
  - 已知：例10.1中六个关键输入变量的三点估计值。
  - 求：每种情景下的*NPW*。

- 求解：
  - 最差情景：基于最差情景的输入变量得到的项目现金流量表，见下表。如果这种情景发生的话，凯普斯通公司将会损失其全部的项目投资，此时其投资收益率为负(-24%)。
  - 最优情景：在最优情景中，凯普斯通公司将显著盈利，补偿所有项目投资后净赚8700万美元，见下表，这等同于获得了67%的投资收益率。

**Capstone's MicrCHP Project Cash Flows under the Worst-Case Scenario (unit: \$000)**

	A	B	C	D	E	F	G
15							
16							
17		0	1	2	3	4	5
18	<b>Income Statement</b>						
19							
20	Revenues:						
21	Unit Price		\$ 72.00	\$ 72.00	\$ 72.00	\$ 72.00	\$ 72.00
22	Demand (units)		1000	1030	1061	1093	1126
23	Sales Revenue		\$ 72,000	\$ 74,160	\$ 76,385	\$ 78,676	\$ 81,037
24	Expenses:						
25	Unit Variable Cost		\$ 65	\$ 65	\$ 65	\$ 65	\$ 65
26	Variable Cost		65,000	66,950	68,959	71,027	73,158
27	Fixed Cost		9,000	9,000	9,000	9,000	9,000
28	Depreciation		7,860	13,470	9,620	6,870	2,453
30	Taxable Income		\$ (9,860)	\$ (15,260)	\$ (11,193)	\$ (8,220)	\$ (3,574)
31	Income Taxes (40%)		(3,944)	(6,104)	(4,477)	(3,288)	(1,430)
33	Net Income		\$ (5,916)	\$ (9,156)	\$ (6,716)	\$ (4,932)	\$ (2,145)
34							
35	<b>Cash Flow Statement</b>						
36							
37	Operating Activities:						
38	Net Income		\$ (5,916)	\$ (9,156)	\$ (6,716)	\$ (4,932)	\$ (2,145)
39	Depreciation		\$ 7,860	\$ 13,470	\$ 9,620	\$ 6,870	\$ 2,453
40	Investment Activities:						
41	Investment	\$ (55,000)					
42	Salvage				=-0.4*(G42-(-B41-SUM(C28:G28)))		\$ 4,000
43	Gains Tax						\$ 4,292
45	Net Cash Flow	\$ (55,000)	\$ 1,944	\$ 4,314	\$ 2,904	\$ 1,937	\$ 8,600
46							
47							
48							
49		IRR =	-24%				
50		PW(15%) =	\$ (42,755)				
51							
52							

IRR = -24%

PW(15%) = \$ (42,755) ← =NPV(15%,C45:G45)+B45

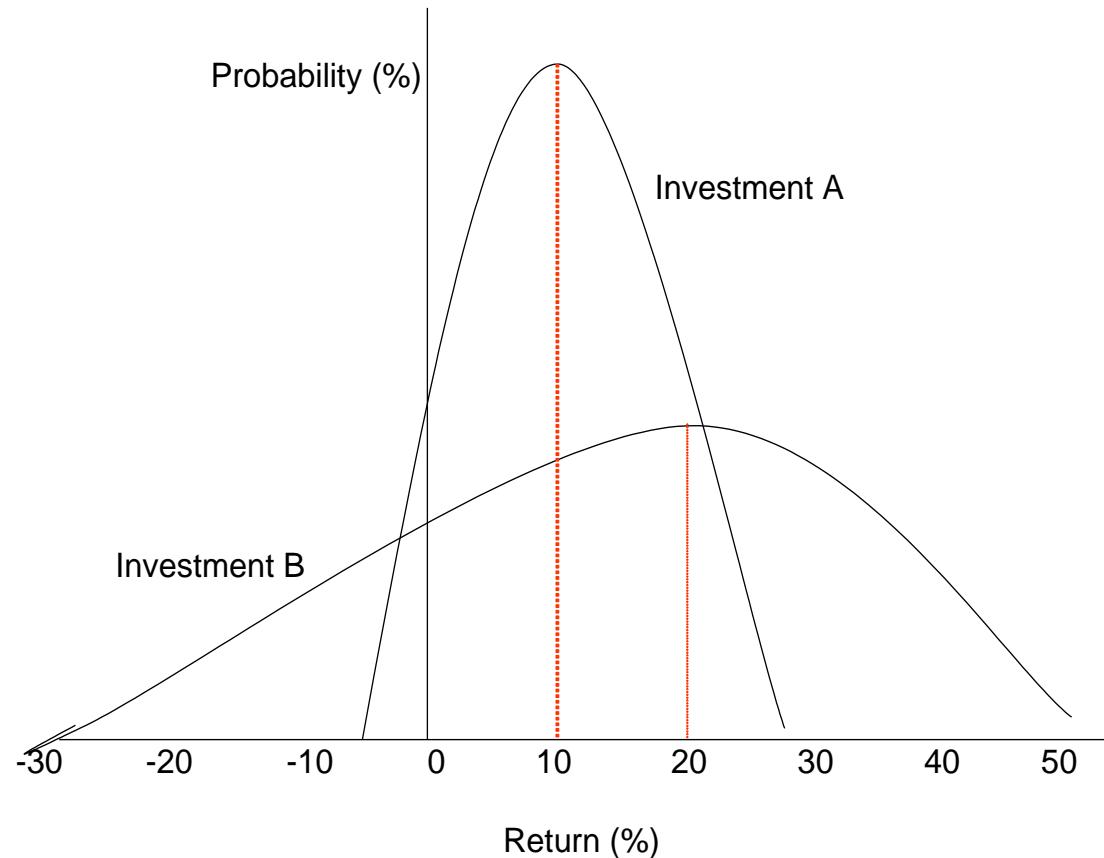
**Capstone's MicroCHP Cash Flows under the Best-Case Scenario**  
 (unit: \$000)

	A	B	C	D	E	F	G
15							
16							
17		0	1	2	3	4	5
18	<b>Income Statement</b>						
19							
20	Revenues:						
21	Unit Price	\$ 86.00	\$ 86.00	\$ 86.00	\$ 86.00	\$ 86.00	\$ 86.00
22	Demand (units)	2000	2160	2333	2519	2721	
23	Sales Revenue	\$ 172,000	\$ 185,760	\$ 200,621	\$ 216,670	\$ 234,004	
24	Expenses:						
25	Unit Variable Cost	\$ 56	\$ 56	\$ 56	\$ 56	\$ 56	\$ 56
26	Variable Cost	112,000	120,960	130,637	141,088	152,375	
27	Fixed Cost	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	
28	Depreciation	7,860	13,470	9,620	6,870	2,453	
30	Taxable Income	\$ 45,641	\$ 44,831	\$ 53,865	\$ 62,213	\$ 72,676	
31	Income Taxes (40%)	18,256	17,932	21,546	24,885	29,071	
33	Net Income	\$ 27,384	\$ 26,898	\$ 32,319	\$ 37,328	\$ 43,606	
34							
35	<b>Cash Flow Statement</b>						
36							
37	Operating Activities:						
38	Net Income	\$ 27,384	\$ 26,898	\$ 32,319	\$ 37,328	\$ 43,606	
39	Depreciation	\$ 7,860	\$ 13,470	\$ 9,620	\$ 6,870	\$ 2,453	
40	Investment Activities:						
41	Investment	\$ (55,000)					
42	Salvage			=-0.4*(G42-(-B41-SUM(C28:G28)))		\$ 8,000	
43	Gains Tax					\$ 2,692	
45	Net Cash Flow	\$ (55,000)	\$ 35,244	\$ 40,368	\$ 41,938	\$ 44,197	\$ 56,750
46							
47							
48							
49		IRR =	67%				
50		PW(15%) =	\$ 87,231		=NPV(15%,C45:G45)+B45		
51							
52							

## 10.3 现金流量概率分析

- 一旦知晓一个投资项目自身的风险水平，将这个信息纳入你对这个拟议计划的评估中，**有两种基本方法：**
  - 直接通过概率评估来考量风险因素；
  - 调整折现率来表征项目现金流量中任何可感知的风险。

- 10.3.1 考虑风险的投资评价



- 期望收益率为所有可能收益的加权平均。
  - 例如，如果有三种可能的收益：6%，9%和18%，且每种出现的概率分别为0.40、0.30和0.30，那么投资的期望收益率计算如下：
$$\begin{aligned} \text{期望收益率}(\mu) &= (0.40 \times 6\%) + (0.30 \times 9\%) + (0.30 \times 18\%) \\ &= 10.5\% \end{aligned}$$
- 风险是指围绕项目期望回报的一簇可能回报。测度簇趋势的方法是计算所有可能回报相对于期望回报偏差的概率的加权平均。描述该均值的一个指标是回报的标准差。

- 该方法实际是计算回报的标准差。标准差越小则风险越低。

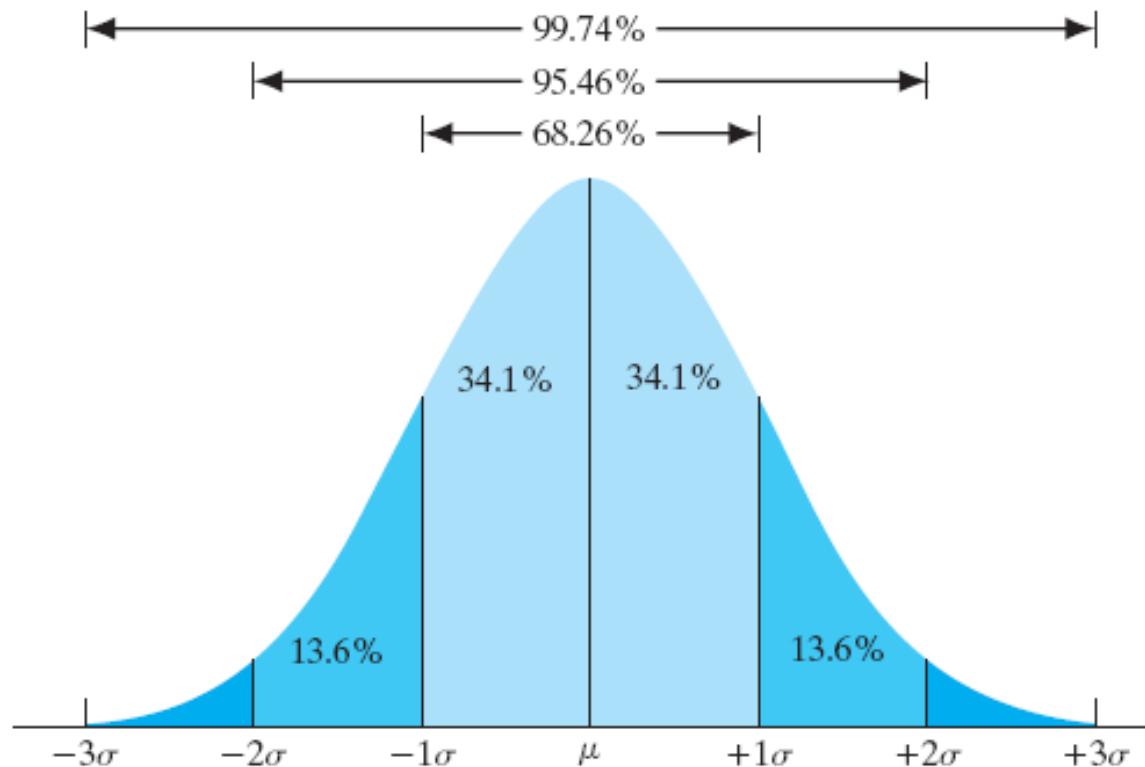
事件	偏差	赋权后偏差
1	$(6\% - 10.5\%)^2$	$0.40 \times (6\% - 10.5\%)^2$
2	$(9\% - 10.5\%)^2$	$0.30 \times (9\% - 10.5\%)^2$
3	$(18\% - 10.5\%)^2$	$0.30 \times (18\% - 10.5\%)^2$
		$\sigma^2 = 25.65$

- 10.3.2 分析期内的风险收益
- 如果我们能够确定期望现金流量以及现金流量在项目寿命期内每一时期的变动情况，那么我们就能够将项目寿命期内净现值的风险收益表示为：

$$E[PW(r)] = \sum_{n=0}^N \frac{E(A_n)}{(1+r)^n}$$

$$V[PW(r)] = \sum_{n=0}^N \frac{V(A_n)}{(1+r)^{2n}}$$

- 注： $r$ 为无风险收益率； $A_n$ 是时期 $n$ 的现金流量； $E(A_n)$ 是时期 $n$ 的期望现金流量； $V(A_n)$ 是时期 $n$ 的现金流量的方差； $E[PW(r)]$ 是项目的期望净现值； $V[PW(r)]$ 是项目净现值方差。
- 由于 $PW(r)$ 是随机现金流量( $A_n$ )之和，那么在特定条件下， $PW(r)$ 也趋近于正态分布且其均值和方差可通过上式求得。如果一个分布是正态的，那么实际的现金流量位于 $\pm\sigma$ 区间内的概率面积将是期望现金流量的68.26%。下图说明了位于 $\pm 2\sigma$ 和 $\pm 3\sigma$ 区间内的情况。



- The area under the normal curve equals 1.0 or 100%.
- Of the area under the curve, 99.74% is within  $\pm 3\sigma$  of the mean ( $\mu$ ), indicating that the probability is 99.74% that the actual outcome will be within the range  $\mu - 3\sigma$  to  $\mu + 3\sigma$ .
- The larger the value of  $\sigma$ , the greater the probability that the actual outcome will vary widely from the expected or most-likely estimate.
- Tables exist for finding the probability of other ranges as shown in Appendix C.

## 例10.5 计算某投资机会的均值和方差

- 假设某项目预期每年产生的现金流量如下表所示，每一时期的现金流量与其他现金流量之间都是独立的，无风险利率为6%。

时期	期望现金流量(美元)	估计的标准差(美元)
0	-2000	100
1	1000	200
2	2000	500

- 求*NPW*的均值和方差。

- 分析:

- 分析:
  - 已知: 各个时期预期的项目现金流量(均值和方差); 无风险利率。
  - 求:  $NPW$ 的均值和方差。

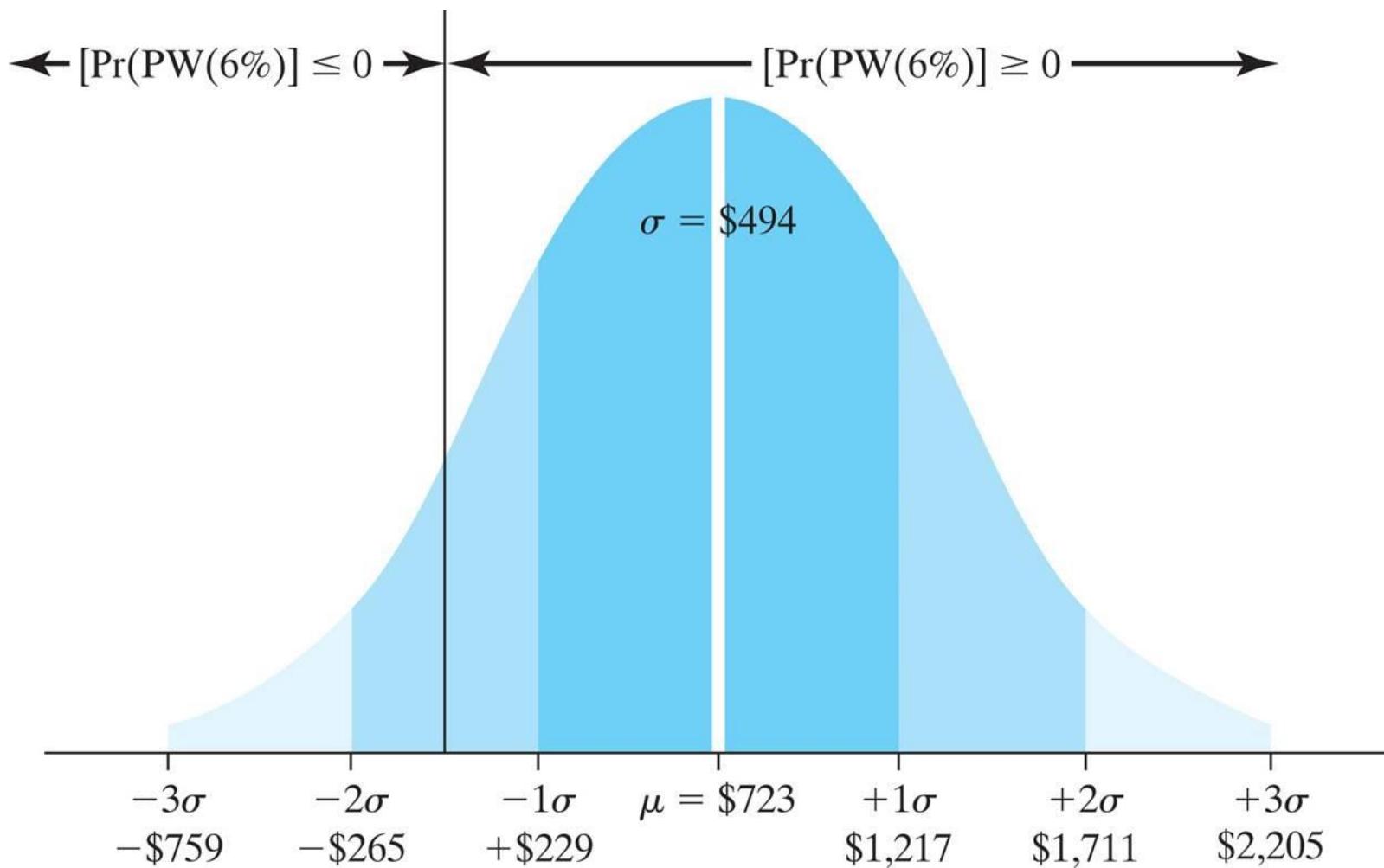
- 求解:

$$E[PW(6\%)] = -2000 + \frac{1000}{1.06} + \frac{2000}{1.06^2} = 723(\text{美元})$$

$$Var[PW(6\%)] = 100^2 + \frac{200^2}{1.06^2} \cdots + \frac{500^2}{1.06^4} = 243623$$

因此, 标准差为494美元。

- 这个信息如何应用到决策中呢？假设最可能的概率分布有6个标准差——3个位于均值之上，另外3个位于均值之下。因此，项目实际的  $NPW$  几乎可以确定落在-759美元和2205美元之间。如下图所示，如果低于 $3\sigma$ 的  $NPW$  仍为正数，那么我们可以说该项目是绝对安全的。如果数值是负值，那么就需要由决策者来确定在给定的期望均值和方差下项目是否值得投资。如果我们假定正常分布，我们可以发现项目  $NPW$  为负值的概率仅为7.17%。



- 10.3.3 估算风险现金流量
- 在实践中，一个常用的估计方法是为每个现金流量设定一个“乐观”估计值、一个“悲观”估计值以及一个“最可能”估计值。这三种估计值的含义如下：
  - 乐观估计（上界）：所有事情都将顺利进行。
  - 悲观估计（下界）：所有事情都将不顺利进行。
  - 最可能估计（众数）：所有事情都将按预估进行。

- 概率分布本身假定为贝塔分布，标准差为上下界（乐观估计值和悲观估计值）之间跨幅的 $1/6$ 。均值和方差可转化为上下界和众数的函数。给出现金流量 $A_n$ 在时期 $n$ 的边界和众数的估计值。如下所示：

$$Est_0[A_n] = H(\text{乐观估计值})$$

$$Est_0[A_n] = L(\text{悲观估计值})$$

$$Est_0[A_n] = M_0(\text{最可能估计值})$$

可以发现

$$E[A_n] = \frac{H + 4M_0 + L}{6}$$

$$Var[A_n] = \left(\frac{H - L}{6}\right)^2$$

- 为了简便起见，这里假定模型为贝塔分布，但是这些估计式是为网络规划的项目评审技术所设计的系统。需要重点指出的是，在跨幅较大的贝塔分布条件下计算得到的近似期望值与精确公式得出的结果之间的差异非常小。

## 例10.6 为凯普斯通公司投资项目建立一个现值分布

- 回顾例10.4，凯普斯通的工程师们已经依据例10.1中的三点估计设计了三种不同的情景。如果我们审查每种情景下的实际现金流量，会发现下述数值：

n	年度现金流量估计值 (单位：1000美元)		
	最差情景(表10-4) L	最可能情景(表10-1) $M_0$	最优情景(表10-5) H
0	(55000)	(55000)	(55000)
1	1944	16344	35244
2	4314	19488	40368
3	2904	18893	41938
4	1937	18785	44197
5	8600	28152	56750

- 用这些实际现金流量作为每一时期的三点估计值。计算 $NPW$ 分布的均值和方差。
- 分析：
  - 已知：每一时期的三点现金流量估计值，每年利率为15%。
  - 求：项目的均值和方差， $NPW$ 为负值的概率。
- 求解：
  - $n = 0$ ：由于初始投资量不存在偏差，方差为0。

○  $n = 1$ :

$$E[A_1] = \frac{1944 + 4 \times 16344 + 35244}{6} = 17094(\text{美元})$$

$$Var[A_1] = \left( \frac{35244 - 1944}{6} \right)^2 = 30802500$$

同样的，我们可以计算其他时期的均值和方差，结果如下表所示  
(单位：1000美元)：

$n$	$L$	$M_0$	$H$	$E[A_n]$	$Var[A_n]$
0	(55000)	(55000)	(55000)	(55000)	—
1	1944	16344	35244	17094	30802500
2	4314	19488	40368	20439	36108081
3	2904	18893	41938	20069	42323699
4	1937	18785	44197	20212	49608544
5	8600	28152	56750	29660	64400625

现在我们来求 $NPW$ 的均值和方差。我们有

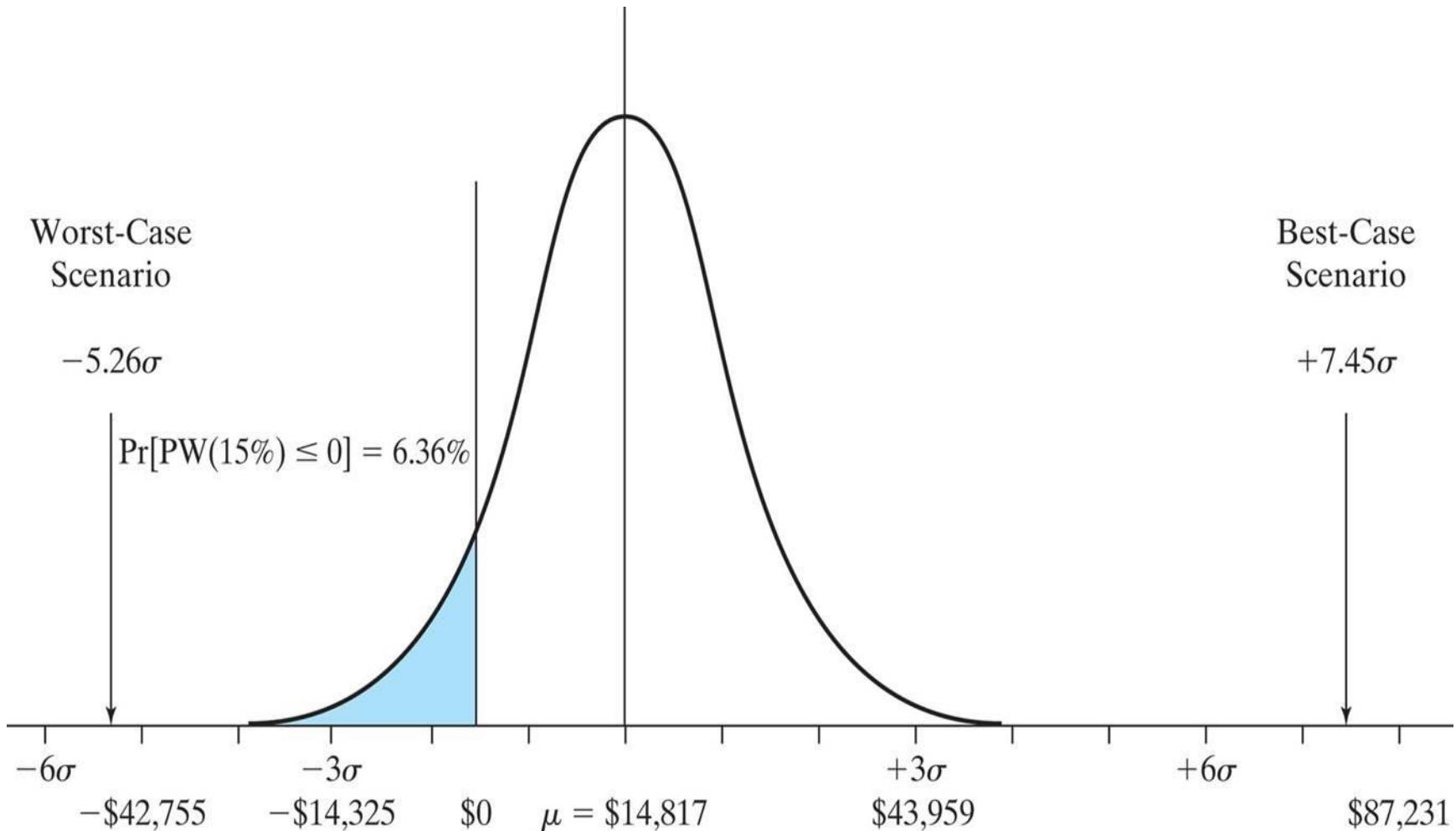
$$E[PW(15\%)] = -55000 + \frac{17094}{(1+0.15)} + \cdots + \frac{29660}{(1+0.15)^5} \\ = 14817(\text{千美元})$$

$$Var[PW(15\%)] = \frac{30802500}{(1+0.15)^2} + \frac{36108081}{(1+0.15)^4} \cdots + \frac{64400625}{(1+0.15)^{10}} \\ = 94369071(\text{千美元})$$
$$\sigma[PW(15\%)] = \sqrt{94369071} = 9714(\text{千美元})$$

再一次，如果我们假定是 $PW(15\%)$ 正态分布，均值和方差由上式计算得到，那么我们可以确定净现值为负值的概率为

$$\begin{aligned}\Pr(X < x) &= \Pr(PW(15\%) < 0) = \Phi\left(\frac{X - \mu}{\sigma}\right) = \Phi\left(\frac{0 - 14817}{9714}\right) \\ &= \Phi(-1.5253) = 1 - \Phi(1.5253) = 6.36\%\end{aligned}$$

在例 10.4 的最差情境分析方法中，最差情景下的结果是  $PW(15\%) = -42755000$ (美元)。然而，这种可能性于独立现金流量假设相去甚远，因为该值相当于均值之下  $5.26\sigma$ ，这机会是不可能发生的。同理，最优情景下  $PW(15\%) = 87231000$ (美元)，这相当于均值之上  $7.45\sigma$ ，也是几乎不可能发生的。



# 10.4 基于折现率的项目风险研究

- 在考虑风险的项目评估中，一种方法是通过调整折现率来反映感知投资风险度。
- 10.4.1 计算公司的资本成本（机会成本）
- **机会成本**，即企业的资本成本，公司必须从现有资产中获得所要求的收益率，且该收益率需要满足其投资者的期望。也称作机会成本。公司通过**权益资金**进行融资经营，也可以通过长期**债务（债券）**融资募集资金，也可以通过发行**普通股**筹集资金。

- 1. 权益资本成本
- **风险资产的预期收益率有三部分组成：**

风险资产的预期收益率 = 无风险利率 + 通货膨胀溢价 + 风险溢价

- 上式表明风险资产的持有者的预期获得收益来自三个方面：
  - 持有该资产的机会成本补偿，即**无风险利率**；
  - 投资过程中随时间推移投资购买能力下降而造成的损失，即**通货膨胀溢价**；
  - 投资者承担风险的补偿，即**风险溢价**。

- 上式前两项并不需要分别计算，合起来可以用**无违约债券（政府债券）的预期收益率**来表示。上述等式可以简化为：  
$$\text{风险资产的预期收益率} = \text{政府债券利率} + \text{风险溢价}$$
- **权益资本成本等于无风险利率加上承担是否获得收益的风险的溢价。**风险溢价等于市场的平均收益率，通常以美国标准普尔500成分股的平均收益率减去无风险利率。再将溢价乘以贝塔值（股票价格波动情况的近似度量）。贝塔值（ $\beta$ ）测算了个股价格相对于市场（或大盘）价格变化敏感性：

- 若 $\beta > 1$ , 说明该股票的波动性大于整个市场的平均水平。
- 若 $\beta < 1$ , 说明该股票的波动性小于整个市场的平均水平。
- 大多数公开交易股票的 $\beta$ 系数值可以从许多渠道获得, 例如*Value Line*权益资本成本的计算公式如下:
$$i_e = r_f + \beta[r_M - r_f]$$
- 式中,  $r_f$ 为无风险利率;  $r_M$ 为市场收益率。

## 例10.7 计算权益资本成本

- 凯普斯通公司需要募集5500万美元的资金用于例1中的项目。公司目标资本结构中的债务比率为0.4，也就是说，募集资金中有3300万美元来自权益融资。相关信息如下：
  - 凯普斯通公司计划从金融市场募集3300美元。
  - 凯普斯通公司的 $\beta$ 系数值为2.0，大于1，意味着公司股票的投资风险高于市场平均水平。
  - 无风险利率为5.47%，市场平均投资收益率为13%（这些利率都已经包括了经济通胀的影响）。
- 计算为公司现代化改造募集资金的权益资本成本。

- 分析:

- 已知:  $r_M = 13\%$ ,  $r_f = 5.47\%$ ,  $\beta = 2.0$ 。

- 求:  $i_e$ 。

- 求解:

$$i_e = 0.0547 + 2.0(0.13 - 0.0547) = 20.53\%$$

这意味着, 如果公司的这一项目的融资都来自权益资金, 假设该项目的风险值约等于公司资产的平均风险值。那么该项目必须获得高于20. 53%的投资收益。

- 2. 负债资本成本
- **债务融资有贷款和发行债券两种方式。由于两种方式的利息支出都是在税前抵扣。因此，负债资本成本会相对减少。**  
**税后负债资本成本的计算公式如下：**

$$\text{税后负债资本成本} = \text{税前成本} \times (1 - \text{税率})$$

$$i_d = \frac{c_s}{c_d} k_s (1 - t_m) + \frac{c_b}{c_d} k_b (1 - t_m)$$

- 式中， $c_s$ 是短期贷款金额； $k_s$ 是贷款的税前利率； $t_m$ 是公司的边际税率； $k_b$ 是债券的税前利率； $c_b$ 是债券融资金额； $c_s + c_b = c_d$ 。

## 例10.8 计算负债资本成本

- 假设在例10.7中，凯普斯通公司决定通过债务融资的方式来募集剩余的2200万美元，其中一部分通过贷款来解决，另一部分通过发行20年票面价值为1000美元的债券，具体情况如下：

来源	金额(百万美元)	占比	年利率
贷款	6.6	0.30	12.16%
债券	15.4	0.70	10.74%

- 该公司的边际税率为40%，预期边际税率在未来保持不变。试计算债务税后负债资本成本。

- 分析:

○ 已知:  $k_s = 12.16\%$ ,  $k_b = 10.74\%$ ,  $\frac{c_s}{c_d} = 0.30$ ,  $\frac{c_b}{c_d} = 0.70$ ,  
 $t_m = 40\%$ 。

○ 求:  $i_d$ 。

- 求解:

○ 负债资本成本等于债务利率乘以 $(1 - t_m)$ 。实际上, 相当于政府支付了一部分负债资本成本。这是因为利息都是税前扣除。  
由此, 我们可以计算出负债资金的税后成本:

$$\begin{aligned} i_d &= 0.30 \times 0.1216 \times (1 - 0.40) + 0.70 \times 0.1074 \times (1 - 0.40) \\ &= 6.70\% \end{aligned}$$

- 3. 计算公司的资本成本
- 假设公司根据目标资本结构募集资金，且未来经营中保持资本结构不变，我们就可以确定公司的资本成本，亦即**加权平均资本成本**。这一指标反映的是以不同方式募集资金的成本，资本成本可以定义为：

$$k = i_d \frac{c_d}{V} + i_e \frac{c_e}{V}$$

- $c_d$ 是债务资本总额，以美元计； $c_e$ 是权益资本总额，以美元计；  
 $V = c_d + c_e$ ； $i_e$ 是每期平均权益收益率，考虑所有权益融资来源；  
 $i_d$ 是每期税后平均借款利率，考虑所有权益融资来源； $k$ 是纳税调整后的加权平均资本成本。

## Financing Sources

Short-term loan

Long-term bond

Retained earnings

Preferred stocks

Common stocks

## Capital Structure

$C_d$  Debt

$C_e$  Equity

$V$

## Cost

$i_d$

$i_e$

Cost  
of  
Capital

$$k = \frac{i_d C_d}{V} + \frac{i_e C_e}{V}$$

## 例10.9 计算公司资本成本

- 继续讨论例10.7和例10.8的情形。预计该公司未来的边际税率( $t_m$ )将保持在40%。假设其未来资本结构也保持不变，计算募集5500万美元资金的边际资本成本( $k$ )。
- 分析：
  - 已知： $c_d = 2200$ 万美元， $c_e = 3300$ 万美元， $V = 5500$ 万美元， $i_d = 6.70\%$ ， $i_e = 20.53\%$ 。
  - 求：资本的边际资本成本( $k$ )。

- 求解:

- 资本的边际成本计算如下:

$$k = \frac{0.0692 \times 4}{10} + \frac{0.2053 \times 6}{10} = 15\%$$

即在已知的资本结构下，募集资本的边际成本(这个项目的折现率)为15%。换言之，新项目的收益率必须高于15%。

- 10.4.2 项目资本成本：风险调整后的折现率方法
- 高风险公司如果投资了一个低风险项目，亦应以一个相对低的资本成本来对现金流量进行折现。反之，如果投资的项目风险较高，应选择一个相对高的资本成本来对现金流量进行折现。**最常用的方法是提高折现率即选择现金流量折现率的时候，将额外的风险溢价考虑在内。**

- 项目的折现率等于其可比风险金融资产的期望收益率，亦即项目资本成本（project cost of capital）。

### 例10.10 风险调整后的折现方法

- 继续讨论例10.6中的情形，凯普斯通项目的预计现金流量如下（单位：千美元）：

时期	0	1	2	3	4	5
现金流量	-55000	17094	20439	20069	20212	29660

- 假设凯普斯通公司仅仅将项目看成一般风险项目。则可以根据例10.9的结果将折现率选定为15%。然而，凯普斯通公司认为该项目为高风险项目，因此在计算折现率的时候需将额外的6.93%的风险溢价考虑在内。如果管理层用21.93%的风险调整折现率，以补偿现金流量的不确定性，投资者是否可以接受该项目？
- 分析：
  - 已知： $N = 5$ 年， $k = 15\%$ ，额外风险溢价为6.93%。
  - 求： $PW$ 。

- 求解：
  - 首先，需要确定新投资项目是否为一般风险项目。如果不是，在计算折现率的时候，需要将额外的风险溢价考虑在内。该项目作为高风险项目，使用风险调整折现率法来计算出该项目的净现值风险调整折现率：

$$15\% + 6.93\% = 21.93\%$$

- 接着，利用项目资本成本，计算出净现值：

$$\begin{aligned} PW(21.93\%) &= -55000 + \frac{17094}{1.2193} + \frac{20439}{1.2193^2} + \cdots + \frac{29660}{1.2193^5} \\ &= 3989 > 0 \end{aligned}$$

净现值仍旧为正值，意味着即使将风险溢价考虑在内，该投资项目仍具有吸引力。

# 研讨

- 讨论项目风险评估的三种方法。

# 课内作业

- 1. 某一特定的投资项目，净现值可以表示为售价( $X$ )和生产变动成本( $Y$ )的函数，即 $PW = 12550(2X - Y) - 8000$ 。 $X$ 和 $Y$ 的初值分别是25美元和15美元。如果售价相对初值提升15%，那么净现值预期变动多少？
  - (a) 10%
  - (b) 20%
  - (c) 13.68%
  - (d) 21.82%

- 2. 一个投资者购买了100股单价为10美元的股票。他已持有该股票15年，现在想要将其卖掉。在购买之初的前3年，他没有获得任何股息。在接下来的7年中的每一年他均获得100美元的股息。剩下的5年内，每一年都没有股息。在这过去的15年内，投资者的边际税率和资本利得税分别提升了30%和20%。那么为获得15%的税后投资收益率，盈亏平衡售价应为多少？
  - (a) 6579 美元
  - (b) 7977 美元
  - (c) 8224 美元
  - (d) 9398 美元

- 3. 公司目前为一个开自己车到公司的销售代表支付每英里0.5美元的补贴。公司正在考虑为这个销售代表配置一辆车，有如下两种方案：
  - 方案一：继续支付每英里0.5美元的补贴。
  - 方案二：为销售代表提供公司车辆。一辆车成本为24000美元，寿命周期为5年，5年后的市场价值为7000美元。下班时间将车放在车库的成本为每年2500美元，燃油成本、轮胎成本以及维修成本为每英里0.3美元。车辆将使用5年期的MARCS进行折旧(20%，32%，19.20%，11.52%，11.52%)。
- 公司的边际税率为40%。如果利率为15%，那么该销售代表每年应该驾车多少英里才能使两种方案的成本相等。
  - (a) 36345 英里
  - (b) 41235 英里
  - (c) 45233 英里
  - (d) 47518 英里

- 4. 一个制造工厂正考虑将一项250000美元的投资用于扩展产能。此举将会使公司多生产高达100000的零件，增加的产能的寿命期为7年。每个零件净收益为2美元，年度运营和维修成本估计为每年25000美元。如果公司的最低期望收益率(*MARR*)为10%，那么使投资合理的最低年生产率是多少？假设残值为0。
  - (a) 低于37000美元
  - (b) 37000—39000美元
  - (c) 39000—42000美元
  - (d) 高于42000美元

- 5. 项目A未来期望收益服从如下概率分布，那么项目A未来期望价值为多少？

概率	净终值(美元)
0.1	-16000
0.2	4000
0.4	16000
0.2	25000
0.1	35000

- (a) 9450 美元
- (b) 10800 美元
- (c) 11400 美元
- (d) 12300 美元

- 6. 在第5题中，项目A预期未来价值的标准差是多少？
  - (a) 10735 美元
  - (b) 3686 美元
  - (c) 13289 美元
  - (d) 12280 美元

- 7. 美国亚利桑那州矿业公司思索着在一套新的开采设备上投资400万美元，用来扩大它的铜矿开采工作。公司管理层预期这项新的投资将会带来不断增加的新的净现金流量。 $A_n(n = 1,2,\dots,5)$ ，每一个 $A_i$ 都是一个均值为200万美元，标准差为400000美元的随机变量。采矿设备第5年底的残值是一个均值为100万美元，标准差为300000美元的随机变量。计算该投资的现值的均值。假设 $A_n$ 的现金流量是相互独立的随机变量，无风险利率为10%。
  - (a) 2.9607 美元
  - (b) 3.235 美元
  - (c) 4.20 美元
  - (d) -3.267 美元

- 8. 在第7题中，计算该投资现值的方差。
  - (a) -0.2220
  - (b) 0.2220
  - (c) 0.4711
  - (d) 0.2029

- 9. 在第7题中，将折现率从10%调整到15%，重新估计项目现金流量的不确定水平。确定在风险调整的折现率下项目的等价现值。
  - (a) 25684 美元
  - (b) 2980 美元
  - (c) 32015 美元
  - (d) 3674 美元

- 10. 哈里是Lehigh制造厂的机械工程师，他发现一个为广受欢迎的家庭安全设备生产线所开发的新型动作识别器的预期盈利能力可以用下式表示：

$$PW = 40.28W(2X - 11) - 77680 \text{ (美元)}$$

- 式中，  $W$  表示生产及销售的部件数；  $X$  为每个部件的销售价格。哈里还发现参数  $W$  的值可以介于1000到6000个部件之间的任意区域，参数  $X$  位于每个部件20美元到40美元的任意位置。假设  $W$  和  $X$  是有如下均值和方差的统计独立的连续随机变量：

$$E[W] = 3500, V[W] = 2083333$$

$$E[X] = 30, V[X] = 33$$

- 那么，  $PW$  的方差是多少？

- (a)  $2.2309 \times 10^{11}$
- (b)  $4.4618 \times 10^{11}$
- (c)  $2.769 \times 10^9$
- (d)  $1.118549 \times 10^{13}$

- 11. 在第10题中，若 $W$ 和 $X$ 是相互独立的离散随机变量，且有如下的概率分布：

W		X	
事件(美元)	概率	事件(美元)	概率
1000	0.4	20	0.7
6000	0.6	40	0.3

- 那么 $PW$ 超过6000000美元的概率为多少？

- (a) 0.28
- (b) 0.40
- (c) 0.60
- (d) 0.82