

第一章

概 述

工程项目是一个开放的微观系统,系统内外存在能量、物质和信息的交换。系统内部构成要素以及外部环境均具有不确定性,造成系统运行状态及其结果具有不确定性,这种不确定性即为工程项目所面临的风险。通过有效的风险管理,可以降低不确定事件发生的概率或者转移风险,从而减轻风险可能造成的损失、减少风险对工程项目带来的潜在影响。

第一节 风险及其度量

一、风险的基本内涵

(一) 风险的概念

研究工程项目风险及其管理,应首先界定风险的概念。国内外学者对此均做出了努力,有关风险定义的版本多达数十种,然而由于风险本身比较抽象,兼具不确定性、模糊性和笼统性,涵盖的范围、涉及的领域又非常广泛,因而对风险概念的定义至今仍有争议,尚未统一。

风险源于法语 *risque*,最早应用于 18 世纪中叶的保险交易。现在,风险已成为人类生活、生产、投资、经营、建设等决策的重要考虑因素之一。然而,当许多人将风险与危险划等号时,忽略了风险的本质,即风险的未来性、不确定性及损益性。事实上,风险是基于未来事件的不确定,未来可能出现偏离于预期的变化,出现损失或受益的概率。当然,大多数情况下,风险是下行的,即风险的结果是损失。

钱伯曼给出了一个较为全面且被多数风险分析专业人员所接受的定义:“风险是因采取特定的活动涉及的不确定导致的经济、财务损失或收益、身体损害或伤亡等的可能性。”(Chapman & Cooper, 1987)

姜青舫等人指出,如果在以特定利益为目标的行为过程中,存在与目标相悖的潜在损失,则由该潜在损失所引致的行为主体造成的危害的事态,即为该项活动所面对的风险(姜青舫,陈方正,2000)。从风险形成机理角度看,风险因素、外部环境和决策行为相互作用,诱发风险事件,从而导致一定的风险结果。风险的输入因素主要包括两个方面:一是未来外部环境的状态;二是针对未来所采取的决策方案。也就是说,结果的不确定(动态状态),是由针对未来所做出的决策和不可预知的多变的外部环境因素共同造成的。

在定义项目管理风险时,应至少考虑以下四个方面:第一,在项目运营全周期中可能发生哪些风险事件;第二,这些风险事件可能由何种风险因素引起;第三,风险事件的发生概率有多大;第四,风险事件可能导致怎样的后果,如经济损失、社会影响、声誉损失及生态环境影响等。

（二）风险与不确定性

除了风险概念本身存在多种定义外，一些与风险相关的概念也存在分歧，如不确定性与风险的关系。最常见的争议是：风险与不确定性是否等同，或是否存在因果关联？

研究者的观点大致可分为三类：①风险便是不确定性；②不确定性导致了风险；③应该严格区分风险与不确定性。

弗兰克 H.奈特（Knight, 1927）最早对两者做出了区分，认为风险与不确定性存在四个方面的差别：

（1）可否量化。风险是可以量化的，而不确定性则不可。

（2）可否保险。不确定性是不可保险的，风险是可保险的。

（3）概率获得性。不确定性描述那些不可能给出发生概率的事件，而风险可以用概率分布来度量。

（4）影响。不确定性代表不可知事件，影响更大。而同样事件若可以量化风险，则可防范该事件的发生并降低其影响。

在实践中，有些风险分析应用人士认为没有必要区分风险和不确定性，对于风险与不确定性做出区分在实际的风险估计和分析中无任何价值，甚至反对进行区分。例如，世界银行风险分析专家普利康（Pouliquen, 1970）和儒特林杰（Reutlinger, 1970）干脆把二者视为一体。著名风险分析专家赫兹和托马斯（Hertz & Thomas, 1983）更是把风险定义为不确定性及不确定性的后果。

本书认为，风险和不确定性密切相关，但二者是有差别的：

（1）不确定性是风险内涵的一部分，也是风险的起因。信息的局限、主观认识的偏差、外部因素的影响、未来事件本身的不同可能性，构成了不确定性，而该不确定性则导致了风险。

（2）不确定性涵盖了风险，但并不全属于风险。事物发展本身具有不确定性，无论是时间、过程、状态还是结果都有诸多可能性，但这些不确定并不一定会引发风险，甚至可能与风险毫无关联。

（3）风险是特殊的不确定性。不确定性具有时空的普适性和存在的客观性，大多难以用定量的方法来衡量。而风险较为特殊，其符合客观事物的内在运动规律，虽然不确定性使得完全消除风险十分困难，但风险在一定程度上是可量化、可预知和可控的。

对于工程投资项目而言，项目一般具有投资规模大、过程复杂、工期长、不可预见性因素众多等特点，因而工程项目目标的实现存在很大的不确定性，这种不确定性主要体现在以下四个方面：

（1）主观不确定性。人们对项目的认识和情况描述都是存在局限性的，即一般情况下，人们很难完全客观、正确、清楚地认识并说明项目的目的、内容、范围、性质、环境影响等。这种认识和表述形成的偏差造成了主观的不确定性。

（2）计量不确定性。项目相关的信息数据资料以及计量时所采用的尺度与准则是存在局限性的，因而造成了项目参数（如项目成本、工期、功能、安全和环境等）计量的不确定性。

（3）外部不确定性。项目只是在相对封闭的环境进行，但实际上无法割裂与外部的联系。外部因素（如国际形势、天灾人祸等）的变化，造成了外部不确定性。

（4）事件结果不确定性。事件的发生概率如何，以及事件的预期后果怎样，都是人们



无法提前准确预知的，因此，造成了事件后果的不确定性。上述不确定性构成了工程项目的风险。

（三）风险与损失可能性

决策理论学家认为，风险的关键是损失的不确定性。从美国项目管理学会（Project Management Institute, PMI）将风险定义为“项目实施过程中存在的不确定事件对项目目标产生的不利影响结果”，即可看出损失及其可能性对于项目风险管理的重要性。

实际研究中，风险大小一般根据损益程度来确定，学术上将其定义为实际结果与预期结果的偏离程度。威廉姆斯和海因斯亦认为风险是预期结果与实际结果的差异，差异越大则风险越大（Williams & Heins, 1989）。然而，这种偏离的方向有正有负，概率、大小及易变性也往往是不确定的，由时间、条件、环境、决策等各种不确定因素互相影响、共同作用来决定。当偏离为正时，为上行风险；当偏离为负时，为下行风险。

传统意义的风险研究一般强调下行风险，即负偏离或损失。但效益型风险也应受到重视，须知风险是客观存在的，同时也是相对的、具有主观认知性和能动性的，甚至从某种角度来看，可能意味着机会。此外需要引起关注的是，损失可能是有形的也可能是无形的，衡量风险时，应当将无形损失包括在内，否则可能扭曲计算结果，导致低估风险。

二、风险的分类

风险按照不同分类标准，有多种划分形式。例如，按总体效果，可分为费用风险、质量风险和进度风险；按建设主体，可分为业主方风险、监理方风险和承包商风险。

本书只列举其中与项目风险分析最为相关的三种划分方法。

（一）纯粹风险和投机风险

根据风险的性质，风险可分为纯粹风险和投机风险。

纯粹风险即下行风险，毫无获利机会，只会造成损害，是风险管理的主要对象。投机风险可能上行，也可能下行，即可能有三种结果：没有损失、有损失或盈利，其强调了获利的可能性和损失的不确定性。由于环境、人力、技术、组织等变动而产生的风险，如科学技术的突破、新产品的研发、管理的创新等，从结果看，也属于投机风险。因而部分投机风险也被列入风险管理内容。

（二）可控风险和不可控风险

根据风险的可控制性，风险可分为可控风险和不可控风险。

风险可控性是指风险事件在发生前能被预测以及发生时可被控制的程度，尤指对其发生的概率和损失进行某种程度的控制。风险是否可控取决于多种因素，如信息、数据等资料的及时性、客观性，相关科技的发达程度等都会对风险的应对能力和可控程度造成影响。值得一提的是，对于自然风险的划分，一般情况下，普通自然灾害如干旱、暴雨等属于可控风险，而严重自然灾害如特大地震、海啸等为不可控风险。项目风险管理主要研究可控风险，对于不可控风险，如国际政治环境剧烈变革等，有时也被列入风险管理范围，制订紧急预案等应对措施。

（三）技术性风险和非技术性风险

根据风险的来源，风险可分为技术性风险和非技术性风险两类，其中，非技术性风险又可分为自然风险、社会风险、经济风险、政治风险、组织管理风险、环境风险等。

技术风险，是因技术性因素而导致的风险，主要从先进性、可靠性、经济性和适用性四

个方面考察,包括设计风险、施工风险、试运行风险、运营风险等,如缺陷设计、设计方案不合理、建设方案变化、设备性能存在问题、外部配套设施跟不上,遭遇技术的更新换代、生产成本提高,产品质量达不到预期要求、项目投产后达不到生产能力等。

自然风险,指因物理客观因素而导致损失的风险,主要包括地理环境风险、气候风险、生态风险及其他自然不可抗力而引发的风险等,如干旱、洪涝、冻灾、地震、山崩、雪崩、火山爆发、飓风、台风、龙卷风、海啸、雷电、暴雨、冰雹、水资源勘察不明、地面下沉、气候不正常、土壤水利环境变化、生物濒危灭绝等。

社会风险,指因个人或团体的特殊行为(缺乏经验、疏忽、工艺不善等造成的过失以及恶意行为等)而导致的风险,包括人为风险、群体性事件风险等,如火灾、爆炸、偷盗、抢劫、故意破坏、罢工、骚乱、暴力事件等。

经济风险,是因市场、资金变化或预算估计错误等而导致的风险,主要包括市场风险、投资风险、财务风险等,如原材料价格上涨、供求失衡、通货膨胀、恶性竞争、资源短缺、资源开采成本过高、资金链断裂、利率汇率变化等。

政治风险,是因国内外政治环境、规章制度等变换而导致的风险,包括国别风险、法规政策风险、战争风险等,如税收、金融、环保、产业政策的调整等。例如,跨国项目需要考虑项目所在国政治条件改变、项目信用结构以及项目偿还能力变化等可能对工程造成的影响。

组织管理风险,是因项目管理人员组织不当、决策失误、管理混乱等行为而导致的风险,可能原因包括管理人员能力不足、人格缺陷、考虑不周、思想狭隘、无法适应市场竞争等。

环境风险,是因项目开发、实施、运营等行为而导致的环境问题,包括对人类健康、生态系统(生物多样性、气候、土壤)等所造成的风险。由于社会经济文化的发展、科学知识的普及、民主参与的提倡、公众环保意识的增强,人们越来越关注赖以生存的自然生态环境。因此,环境风险不仅体现在生产成本增加而使投资效益减少,甚至可能使项目迫于舆论压力而中途下马。例如,项目选址不当,或社区影响、环境生态影响估计不足,项目建设与运营后对社区和生态可能造成严重影响,则有可能导致社区居民和社会大众的反対。

三、风险的度量

风险的度量就是综合考虑风险发生的频率、潜在的后果等来衡量风险大小,对风险进行排序,同时帮助识别风险因素间的关系以及风险转化的条件,以便制订针对性的风险管理策略。该步骤是风险分析需要解决的重要问题。概括来说,风险度量方式的区分,可分为外生变量随机性引致的不确定性和内生变量模糊性引致的不确定性两类。前者强调随机性,验前结果已知,验后结果未知,可用统计学的方法来表征,即用频率或概率来表示风险;后者强调模糊性,指部分信息未知,主观认知模糊(概念的内涵或外延不清楚),可用模糊数学的方法来度量。这里只介绍概率表征方法。

(一) 风险的计量标度

对风险进行计量是为了取得有关数值或排列顺序。计量使用标识、序数、基数和比率四种标度。

1. 标识标度

标识对象或事件,用来区分不同的风险,但不涉及数量。例如,用红色、黄色、绿色分

别表示严重、中等、不严重等。不同的颜色和符号都可以作为标识标度。在尚未充分掌握风险的所有方面或同其他已知风险的关系时，使用标识标度。

2. 序数标度

事先确定一个基准，然后按照与这个基准的差距大小将风险排出先后顺序，使之彼此区别开来。例如，将风险分为极大、较大、中等、较小、极小或者第一、第二、第三。再如，将风险分为已知风险、可预测风险和不可预测风险。利用序数标度还能判断一个风险是大于、等于还是小于另一个风险。但是，序数标度无法判断各风险之间的具体差别大小。

3. 基数标度

基数标度通过具体的数值来表示事件的风险大小。例如，A事件的风险大小是50，B事件的风险是100，C事件的风险是300。使用基数标度不但可以把各个风险彼此区别开来，而且还可以确定风险之间具体的差别大小。

4. 比率标度

比率标度是指通过一定的比率，确定事件的风险大小。例如，用风险概率表示风险发生可能性的大小。A事件的风险概率是0.2，B事件的风险概率是0.7。通过比率标度可以确定风险之间的具体差别，还可以确定一个计量起点。

(二) 风险概率的量化

风险的大小由风险发生的概率和风险后果的严重性二者共同决定。因此，风险大小与概率密切相关，建立风险概率分布是量化风险的一个重要步骤。根据概率分布函数给出的分布形式、期望值、方差、标准差等信息，可以直接或间接判断项目的风险。通过某一风险事件的概率分布，也可以推断同类事件的风险大小。

1. 专家评分法

专家评分法是由项目专家对工程项目各阶段的风险因素的发生概率和后果进行打分，从而使风险概率量化的一种定性方法。本书后续内容将对该方法予以详细介绍。

2. 模糊风险量化方法

模糊风险量化方法是借助于模糊数学理论将不同类型的风险用统一的模糊语言来进行量化，并通过模糊集的运算来进行项目总风险的估计和评价。模糊事故树模型、模糊影响图模型等都是以模糊语言为基础的风险定量分析方法。本书后续章节将对该方法予以详细介绍。

3. 以概率论为基础的风险量化方法

衡量风险大小较为传统的方法是研究风险的概率分布，它能够得到较为准确的风险量化值，因而以此为基础发展了多种有效的风险分析方法，如蒙特卡罗模拟、CIM模型、贝叶斯概率决策法等。概率分布通常反映某一事件发生结果的可能性，如果知道了风险事件的概率分布，就不难据此推断同类事件的风险大小。因此，建立概率分布是风险量化的一种主要方法。

(1) 客观概率和主观概率分析。风险概率分析可以分为客观概率分析和主观概率分析。前者利用历史统计资料确定风险概率分布，后者则根据专家经验判断风险概率。

1) 客观概率分析法。客观概率分析法的本质是利用样本的分布代替总体的分布，因此该方法立足于大量数据和试验，需要用统计的方法进行计算。客观概率分析所得数值是客观存在的，不以人的意志为转移。当工程项目某类风险事件或风险因素有较多历史数据资料可

查时,即可根据数据资料制作频率直方图,并根据直方图画出风险密度函数曲线,找出数据分布的规律性,进而找到风险发生的规律,推断出风险因素或风险事件的概率分布^①类型,如正态分布、三角形分布等。数据量越大,所估计的密度曲线越接近实际的密度曲线。

由于部分风险因素或风险事件在工程项目实践中较常发生,历史上已经总结出了该类风险因素或事件的分布概率。在此情形下,可利用已知的理论概率分布,并结合工程具体情况,确定风险因素或风险事件发生的概率。例如,工程项目质量风险、地质地基风险、施工工期风险等均近似服从正态分布,因此,可利用正态分布分析以上风险。

2) 主观概率分析法。由于不同工程项目面临的时间、条件、环境不同,即便是同类项目,也可能存在根本性差别,因此,历史数据资料可能并不具有可参照性,或者根本没有可供参考的资料。而在工程项目的可行性研究中,进行风险分析也往往并不能针对风险事件做试验。因此,进行客观概率分析一般较为困难。但由于决策的需要,必须对风险事件或因素的发生概率进行估计,在这种情况下,就只能应用主观概率分析法估计风险概率,即由专家根据当时能收集到的有限信息,凭借过去长期积累的经验对风险事件发生的概率分布或概率做出一个合理的估计。

(2) 概率分布的类型。随机变量可能的取值范围和取这些值相应的概率称为随机变量的概率分布。在风险分析中,概率分布用来描述损失原因所致各种损失发生可能性的分布情况,是显示各种风险事件发生概率的函数。根据随机变量取值的不同,概率分布可分为连续型和离散型两大类。当随机变量取值为有限个值或所有取值都可以逐个列举出来时,该种随机变量称为离散型随机变量,其概率称为离散概率。当随机变量的取值充满一个区间,无法逐个列举时,该种随机变量称为连续随机变量,其概率称为连续概率。工程项目风险管理常用的连续型概率分布包括正态分布、指数分布、三角形分布、梯形分布、极值分布等;离散型概率分布包括伯努利二项分布、泊松分布等。可以根据实际情况进行概率分布类型的选择。

1) 正态分布(Normal Distribution)。正态分布是一种最常用的概率分布,其概率密度函数为

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (-\infty < x < +\infty, \sigma > 0) \quad (1-1)$$

该分布特点是密度函数以均值为中心对称分布,如图 1-1 所示。

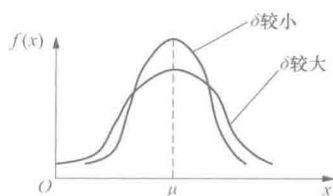


图 1-1 正态分布

其均值为 $\bar{X}$, 方差为 σ^2 , 用 $N(\bar{X}, \sigma)$ 表示, 当 $\bar{X}=0, \sigma=1$ 时, 称这种分布为标准正态分布, 用 $N(0, 1)$ 表示。如果根据客观数据和专家经验估计得出的风险变量变化在一个区间, 均值出现的机会最大, 大于或小于均值的数值出现机会均等, 则可以用正态分布来描述。例如, 工程施工质量管理方法的“6σ”法, 就是以正态分布为基础对风险概率进行估计。

2) 泊松分布(Poisson Distribution)。泊松分布是用于建立某种度量单位内发生次数模型的一种离散分布。其概率密度函数为

① 概率分布用来描述损失原因所致各种损失发生可能性的分布情况, 是显示各种风险事件发生概率的函数。

$$f(x) = \begin{cases} \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!} & \text{若 } x = 0, 1, 2 \dots \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (1-2)$$

泊松分布的均值为 λ ，而且方差也为 λ 。工程项目中，很多随机现象都近似服从泊松分布，可以用该分布来进行概率估计，如图 1-2 所示。例如，单位时间内到达的工程索赔的次数、机械设备在单位时间内出现故障的次数、单位时间内质量事故次数等。

3) 三角形分布 (Triangular Distribution)。三角形分布是将各种复杂的分布，简化成了由最小值、最可能值和最大值三组数据构成的对称或不对称的三角形分布，极大地减少了数据量，如图 1-3 所示。该分布适用于描述工期、投资等不对称分布的输入变量，也可用于描述产量、成本等对称分布的输入变量。

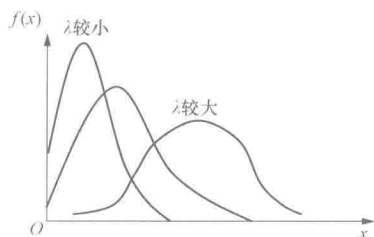


图 1-2 泊松分布

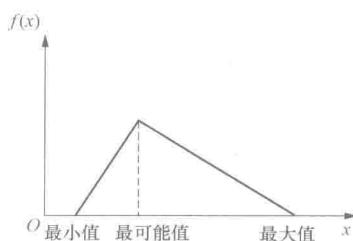


图 1-3 三角形分布

4) 均匀分布 (Uniform Distribution)。描述每一区间分布的概率时，可用均匀分布描述。均匀分布的概率密度函数为

$$f(x) = \frac{1}{b-a} \quad (a \leq x \leq b) \quad (1-3)$$

其概率密度曲线如图 1-4 所示。利用均匀分布可以估计工程项目中每发生一次人身伤亡时的索赔额、每次事故的损失额等。如果 $a=0$ ， $b=1$ ，则此时的均匀分布称为 $[0, 1]$ 分布。

5) 梯形分布 (Trapezium Distribution)。梯形分布概率分布密度函数为

$$f(x) = \begin{cases} \frac{h}{c-a}(x-a), & a \leq x \leq c \\ \frac{2}{b+d-c-a}, & c \leq x \leq d \\ -\frac{h}{b-d}(x-b), & d \leq x \leq b \\ 0, & x < a \text{ 或 } x > b \end{cases} \quad (1-4)$$

其中

$$h = \frac{2}{b+d-c-a}$$

梯形分布又称四点分布，该分布是三角形分布的特例，在确定风险变量的最大值和最小值后，对最可能值却难以判定，只能确定最可能值在某一区间 $[c, d]$ 内变动，这时可用梯形分布，如图 1-5 所示。

梯形分布通常被用作其他分布的粗略近似，使用起来非常灵活。但其缺点是限于有界性，排除了出现极端偏离值的可能性。

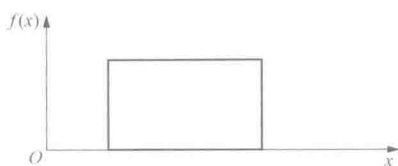


图 1-4 均匀分布

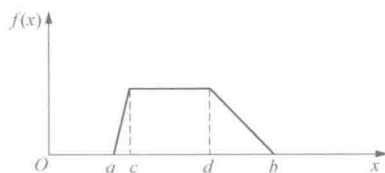


图 1-5 梯形分布

6) β 分布 (Beta Distribution)。 β 分布是密度函数在最大值两边不对称分布的一种概率分布, 适用于描述工期等不对称分布的输入变量, 如图 1-6 所示。 β 分布的概率密度函数为

$$f(x) = \frac{1}{B(p, q)} \times \frac{(x-a)^{p-1}(b-x)^{q-1}}{(b-a)^{p+q-1}} \quad (a \leq x \leq b; p, q > 0) \quad (1-5)$$

当 $p < q$ 时, 为正偏斜; 当 $p = q$ 时, 分布为对称型; 当 $p > q$ 时, 为负偏斜。

它较易从有限的识别数据中识别, 还能在分析过程中取得额外数据时予以更新, 可以包含多种形状的曲线, 如对称形、左偏斜、右偏斜等。

7) 指数分布 (Exponential Distribution)。指数分布适用于在时间上随机重现的风险事件的概率估计。其密度函数为

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}, \quad x \geq 0 \quad (1-6)$$

指数分布的均值为 $\frac{1}{\lambda}$, 方差为 $\left(\frac{1}{\lambda}\right)^2$, 其概率密度曲线如图 1-7 所示, 随着 x 的增加, 概率密度逐渐减小。指数分布具有无记忆性的特征, 即当前时间对未来结果没有影响, 故广泛应用于设备故障风险及工程结构可靠性的监测中。

8) 经验分布。当没有充分依据或无法找到适合风险变量的理论分布时, 常用到经验分布。该种分布利用德尔菲专家调查法对风险变量的数值范围及相应的概率进行估计, 来得到变量的分布, 一般将取值范围分为几个区间, 将专家的判断统计分析后绘制成直方图, 如图 1-8 所示。

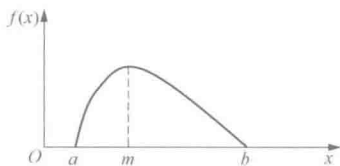


图 1-6 β 分布

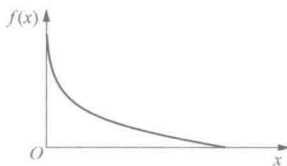


图 1-7 指数分布

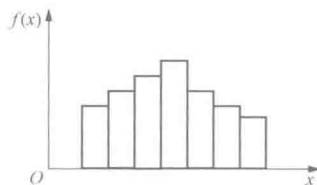


图 1-8 经验分布

(三) 单一性风险和关联性风险的度量

1. 单一性风险的度量

根据维度的不同, 单一性风险数量表征可分为一维、二维和多维三类。

(1) 一维数量表征。从一维的角度来度量风险, 如 VaR 方法。VaR 方法采用单一指标, 简单直观地度量市场下行风险, 测度在一定的时间和置信水平下目标资产或收益的最大潜在损失, 非常贴近投资者对风险的真实感受。

(2) 二维数量表征。从二维的角度来度量风险。最为常见的是选取损失的大小与发生的

概率两个指标来表征, 即 $R=F(P_c, C)$, 其中 R 为项目风险程度, C 为损失, P_c 为损失发生的可能性, $F(\cdot)$ 表示三者的函数关系。

(3) 三维或多维数量表征。从三维或多维的角度来度量风险, 该方法最为全面、系统。例如, 约翰·加里克和斯坦·凯普兰提出以 $R=\{<S_i, L_i, X_i>\}$ 来表征风险, 式中, R 为风险程度, S_i 为第 i 个风险幕景, L_i 为 S_i 发生的概率, X_i 为 S_i 的后果。根据风险的形成机理, 也可用 $R=F(H_i, P_i, C_i)$ 来进行风险度量, 其中, i 表示时期, R 为该时期的风险, H_i 、 P_i 、 C_i 分别表示风险因素、风险事件、风险结果, $F(\cdot)$ 表示四者间函数关系。另外一种风险矢量度量法将风险记为 $R=R_1 \times R_2 \times R_3$, 其中, R_1 表示风险事件的价值 (位置风险), 也即风险事件造成的收益或损失, R_2 表示风险概率 (形状风险), R_3 表示风险可控性 (趋势风险)。假设项目在未来的环境状态下可能损失的密度函数、分布函数、期望值和方差分别为 $f(x)$ 、 $F(x)$ 、 $E(x)$ 、 σ_x^2 。则 R_1 、 R_2 、 R_3 的表达式如下:

$$R_1(x) = \begin{cases} 0, & m > E(x) - k\sigma_x \\ \frac{1+k\sigma_1 - E(x)}{1-m+2k\sigma_1}, & m \leq E(x) - k\sigma_x \end{cases} \quad (m \leq \text{损失目标} \leq 1) \quad (1-7)$$

式中, k 为分布百分位点 $Z\alpha$, α 为置信度水平。

$$R_2(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dF(x) \quad (x \text{ 是连续性变量}) \quad (1-8)$$

$$R_2(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} P(x) \cdot x \quad (x \text{ 是离散型变量}) \quad (1-9)$$

$$R_3(x) = 1 - \frac{1}{2}[(2x-1)^\alpha + 1], \alpha \in (0, 1) \quad (1-10)$$

此外, $R=(r_1, r_2, r_3, r_4, r_5)$ 也是较为常用的风险表征方法, 式中 r_1 、 r_2 、 r_3 、 r_4 、 r_5 分别为风险的概率、损失、可预测性、可控制性和可转移性。针对行业、目标等不同, 可加入其他指标来细化数量表征, 如毛风险 (无风险防范措施的最大潜在损失)、净风险 (采取风险防范措施后的潜在损失)、风险水平变化速度、风险水平加速度、统计风险度、生存风险度等。

2. 关联性风险事件组的度量

(1) 串联型。若风险事件 $X_i(i=1, 2, \dots, n, n>1)$ 中的任一事件发生均可导致风险事件 R , 则 X_i 为串联型风险事件组, 如单体工程工期延误、投资金额减少、安全隐患、质量问题等风险中的任意一项, 都可能导致整个项目的完工风险。定义 X_i 的风险概率值为 P_i , 则 R 的发生概率值为 $P(R) = \prod_{i=1}^n P_i$ 。

(2) 并联型。若风险事件 $X_i(i=1, 2, \dots, n, n>1)$ 中所有事件共同发生, 风险事件 R 才会发生, 则 X_i 为并联型风险事件组。定义 X_i 的风险概率值为 P_i , 则 R 的发生概率值为 $P(R) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i)$ 。

(3) 复合型。在实际的项目当中, 很多风险事件之间是一种串并联型的复合关系, 可以将其进行结构分解, 再采用以上方法来确定风险事件的发生概率。

(四) 风险结果的量化

项目风险结果, 也即损失或收益的量化, 可根据风险对项目目标的影响来进行:

(1) 投资风险, 其结果可用货币或者偏差的百分比来表示。

(2) 进度风险, 其结果可用工期变化量表示或以货币形式 (包括提前或延误带来的收益

或损失、资金的时间价值、补偿工期所需的额外费用)来反映。

(3) 质量风险,其结果一般用货币衡量,包括质量偏差引起的直接经济损失(收益)和间接损失/第三者责任损失(修复和补救等措施发生的费用)。

(4) 安全风险,其结果以货币形式表示,包括财产、人员损失及补偿费用、工期提前或延误带来的奖励或损失、安全施工或事故恢复所带来的节约收益或超额费用、第三者责任损失或安全施工所带来的企业无形资产的收益等。

(5) 环境风险,其结果可用货币来表示,包括环境问题引起当地政府的处罚损失、居民的索赔损失、停工损失等。

(6) 经济(财务)风险,其结果一般用内部收益率(IRR)或经济净现值(NPV)的变化百分比来表示。

第二节 工程项目风险分析

一、分类与作用

本书认为项目风险分析是一个完整的过程,这个过程包括:①识别项目规划、实施、运营各阶段的潜在风险因素;②估计风险事故和损失发生的可能性/概率;③评价风险对项目的影响;④根据分析结果提出相应的风险应对措施,防止或减少不利影响。

(一) 分类

风险分析基本可分为三类,即因素分析、专项分析、综合分析。

其中,因素分析顾名思义,是针对风险因素的测度,一般先利用专家经验或历史统计概率等进行定性分析,再运用数学模型计算各个层次风险因素的概率分布、数学期望值及标准差等。

专项分析则是结合因素分析结果,综合运用各种风险分析方法,计算财务风险(如财务内部收益率、净现值及投资回收期变化等)、经济风险(如市场、物价、利率变化等)、投资风险、工程风险等专项风险的概率分布、数学期望值及标准差等。

综合分析是在专项分析的基础上,通过层次分析模型或其他统筹类风险分析模型,计算项目综合风险的概率分布、数学期望值及标准差等。

(二) 作用

风险是客观存在且无法完全消除的,且通常具有隐蔽性、复杂性、多变性等特征。人们易受表面现象迷惑或被私利蒙蔽,而忽略或夸大项目中的风险,从而导致项目风险分析与应对发生差错,给项目造成不必要的损失。如果忽视风险的存在,仅仅依据基本方案的预期结果,如某项经济评价指标达到可接受水平来简单决策,就有可能蒙受损失,多年来项目的建设的历史经验客观上证明了这一点。而风险分析旨在为有效的风险应对提供基于证据的信息和分析。

风险分析和决策可以有效地增强项目各方的风险意识,起到项目风险预警、预报的作用,进而对风险加以防范和控制,在有限的空间和时间内,改变可能引发风险的条件,在一定程度上回避风险、降低风险、减少损失。因此,风险分析是投资项目决策过程中的重要环节,它有助于通过信息反馈,帮助决策者更理性地思考、分析和评价风险,实现科学决策。

此外,由于项目利益相关者(指所有可能受到项目影响的个人或组织)众多,包括政府、



业主、承包方、行业协会、咨询公司、监理公司、社会公众、社区等，而不同相关者对项目目标有不同的要求，如财务部门更重视控制成本，设计部门更关注技术与可行性，投资方与项目承建方更强调项目收益。如果没有与项目主要利益相关者建立沟通并充分了解其需求，则容易对项目的顺利实施造成严重影响，而风险分析具有完整性、均衡性和动态性，可以帮助完整反映各方面的需求，更好地进行风险管理乃至项目管理。

概括而言，风险分析的主要作用包括：①认识风险及其对目标的潜在影响；②为决策者提供相关信息；③增进对风险的理解，以利于风险应对策略的正确选择；④识别那些导致风险的主要因素，以及系统和组织的薄弱环节；⑤沟通风险和不确定性；⑥有助于建立优先顺序；⑦帮助确定风险是否可接受；⑧有助于通过事后调查来进行事故预防；⑨选择风险应对的不同方式；⑩满足监管要求；⑪有助于更好地进行风险管理乃至项目管理。

二、风险分析的阶段划分

美国项目管理学会（PMI）将项目风险管理过程划分为风险管理计划、风险识别、定性风险分析、定量风险分析、风险应对计划、风险监测与控制等六个阶段。中国项目管理研究会（PMRC）则提出风险管理规划、风险识别、风险评估、风险量化、风险应对计划、风险监控等六个阶段。

本书将工程项目风险分析分为风险管理体系构建、风险识别、风险估计、风险评价、风险应对五个基本阶段，基本流程和各阶段对应步骤、方法如表 1-1 所示。

表 1-1 风险分析过程与方法

阶段	步 骤	方 法
风险管理体系构建	建立时间体系、文化体系和四大子系统（风险因素体系、方法体系、支持体系、管理组织体系）	头脑风暴法、德尔菲法、问卷调查法、幕景分析法等
风险识别	找出可能的风险因素	头脑风暴法、德尔菲法、故障树法、问卷调查法、幕景分析法等
	列出风险清单	设计风险清单的格式
风险估计	风险度量	专家估计法、概率分析法等
	应用风险分析方法进行分析	层次分析法、蒙特卡罗模拟、控制区间和记忆模型等
风险评价	评估风险管理成本	敏感性分析、盈亏平衡法等
	评估风险综合影响	模糊综合评价法等
风险应对	确定风险应对方案，制订实施风险管理计划	为什么制订这个计划？（why） 在何处执行？（where） 何时完成？（when） 由谁来完成？（who） 如何完成？（how）

风险分析的前三个阶段的流程可用图 1-9 简单表示。

（一）风险管理体系的构建

工程项目在不同阶段往往均存在许多不同层次、不同类型却又相互关联、相互影响的风险因素。传统的风险分析一般针对工程项目某个具体阶段或某个风险管理目标而进行，参与项目建设的各方都站在各自的立场独立地进行风险管理。这种单一的、孤立的、分散化的风险分析系统，使整个项目的风险管理处于分割与分散化状态，显然难以胜任对项目的综合风

险评价,也不能适应当今新型项目建设的要求。因而,有必要从项目整体角度,利用系统思维的方法构建一个完整的投资项目风险分析与风险管理资源集成体系(Risk Management System)来对项目风险进行全面剖析。

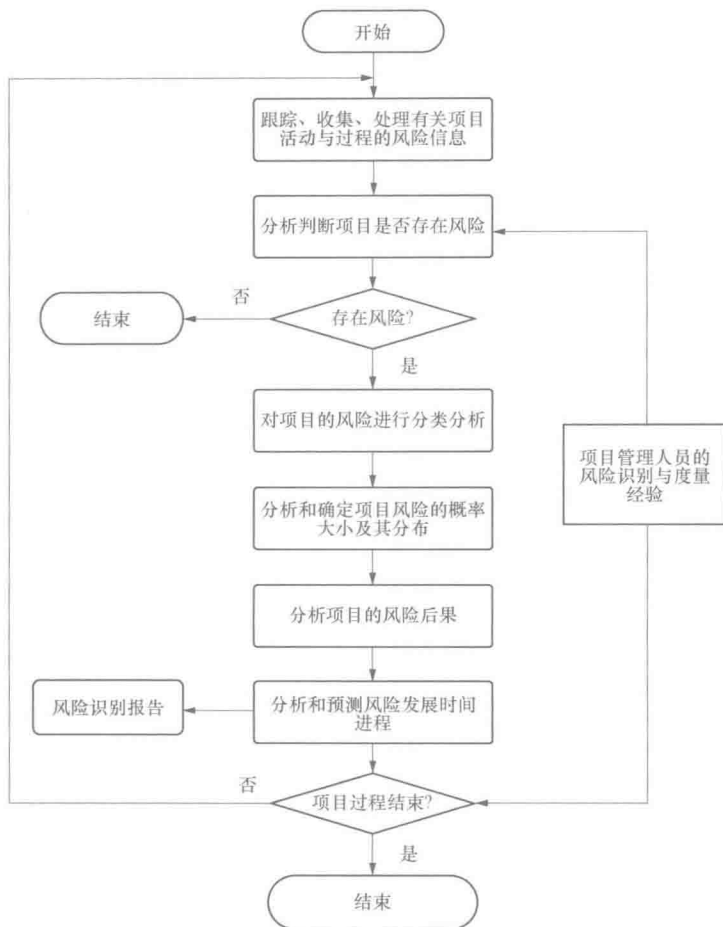


图 1-9 工程项目风险分析流程

(二) 风险识别

风险识别(Risk Identification),核心是通过对项目的全面考察和综合分析,辨别出需要考虑的风险,寻找风险的主要根源或潜在风险因素,为进一步的风险评估奠定基础。

在风险识别时,需要注意的是,①风险本身具有不确定性和可变性,同一项目不同阶段、不同时期风险有所不同,同一风险的质和量在项目不同阶段也有所变化。应在参考历史数据和类似项目资料的同时,用发展的眼光来看待风险,力求做到系统、科学、全面;②风险具有相对性,同一项目风险对于不同行业 and 不同风险管理主体的影响有所不同,应针对不同行业、管理主体的特点,分辨其主要风险、关键因素;③风险本身具有阶段性和层次性,应采用分析和分解原则,深入剖析风险事件,适当时可运用“逆向思维”来审视项目风险,明确风险根源所在。例如,新技术的出现可能导致现有技术落后,进而使项目受到影响;新竞争对手的加入可能导致市场格局和走势的改变,进而影响项目预期收益;国际政治环境的变化,

可能导致项目延后甚至无法实施。

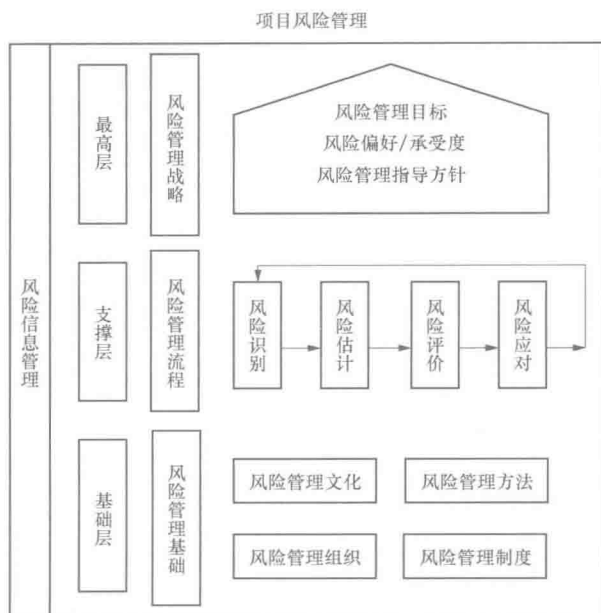


图 1-10 项目投资风险管理模型

图 1-11 将市场风险问题分解为四个层次，可在风险因素识别时作为参考。

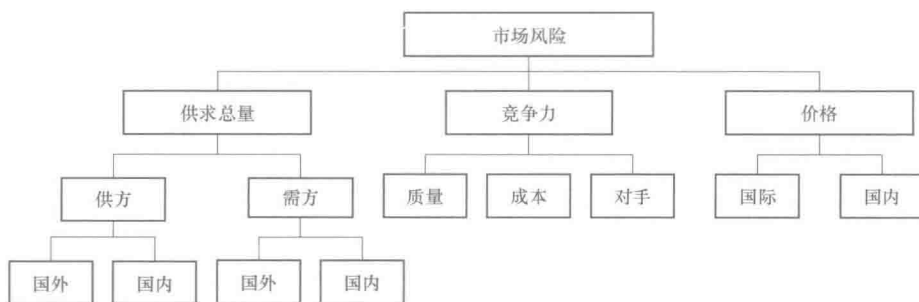


图 1-11 市场风险因素的分解

（三）风险估计

项目寿命周期内，在其预定目标实现的过程中，随时随处都可能面临各种直接或间接的风险。这些风险对项目的影响程度各不相同，没有必要也不可能将所有风险都列为研究对象。因此，风险估计（Risk Estimation）旨在预判风险发生的可能性及其对项目可能造成的影响与后果，以便在下一步的风险评价时筛选出影响项目成败的关键风险因素。

风险估计分为定性估计和定量估计，通常二者结合使用，先定性、再定量。其中，定量估计根据信息数据的丰富与否又可分为主观估计和客观估计。例如，当资料匮乏时，采用的德尔菲法即为主观估计方法，它是由专家基于经验进行推断，并多次求证从而得出较为一致的结论的方法；而当数据、资料较为齐全时，运用统计学、数学建模等方法进行概率估计的方法为客观估计。

(四) 风险评价

风险评价 (Risk Evaluation) 是在风险估计的基础上, 选定评价指标、建立评价标准体系, 来揭示对项目潜在影响最严重的关键风险。风险评价方法有层次分析法 (AHP)、控制区间和记忆模型 (CIM) 和蒙特卡罗模拟 (Monte-Carlo) 等。

根据风险因素对工程项目的影晌程度, 可以将风险评价标准划分为较小风险、一般风险、较大风险和严重风险四个等级 (或数字等级 1~9 级):

(1) 较小风险 (1~2 级): 风险发生的可能性较小, 或者发生后造成的损失较小, 不影响项目的可行性。

(2) 一般风险 (3~5 级): 风险发生的可能性不大, 或者发生后造成的损失较小, 一般不影响项目的可行性, 但应采取一定防范措施。

(3) 较大风险 (6~7 级): 风险发生的可能性较大, 或者发生后造成的损失较大, 但造成的损失是项目可以承受的, 必须采取一定的防范措施。

(4) 严重风险 (8~9 级): 风险发生的可能性大, 风险造成的损失大, 将使项目由可行转变为不可行, 需要采取积极有效的防范措施。

根据风险评价结果可制订相应的评估表, 用作分类和警示, 方便下一步有针对性地制订风险对策, 如表 1-2 所示。

表 1-2 风险因素和风险程度评估表

序号	风险因素名称		风险程度说明			
			严重	较大	一般	较小
1	市场方面	市场需求量				
		竞争能力				
		价格				
2	原材料供应方面					
3	技术方面	可靠性				
		适用性				
		匹配性				
4	资源方面	资源储量				
		开采成本				
		水资源				
5	工程地质方面					
6	投融资方面	汇率				
		利率				
		投资额				
		工期				
7	配套条件	水、电、气配套条件				
		交通运输配套条件				
		其他配套工程				



续表

序号	风险因素名称		风险程度说明			
			严重	较大	一般	较小
8	外部环境	经济环境				
		自然环境				
		社会环境				
9	其他					

（五）风险应对

风险应对（Risk Countermeasure）或风险对策是指工程项目决策阶段，根据项目风险评估结果，更改、完善项目方案，并针对项目决策、实施和运营各阶段，提出相应的风险预防、控制举措，防止风险发生、减少风险损失，并在项目决策执行中建立有效的监管、责任机制。对于不确定性较大或可控性较低的风险领域，应留有充分的风险余地，同时做好应急方案，以防患于未然。例如，市场价格、汇率、利率等不可控因素的变化，可能对工程项目的投资、工期和效益等造成较大影响，在编制投资预算、制订项目实施计划和分析财务效益时应预留风险损失。

风险应对主要有风险回避、风险转移、风险分担、风险自担和风险修正五类，常被结合使用。在研究风险应对时，常常需要对技术、信息、工程、管理、市场、经济等各潜在风险因素开展课题调研，以增强对风险的认知，解决模糊问题，更全面、系统、准确地提出风险应对措施。

但需注意的是，风险应对须结合项目的实际情况，强调技术可行性和经济适用性，即针对行业、项目、风险管理主体的特点，提出必要举措，以较低的风险成本将关键风险及其损失控制在可承受范围内，否则该风险应对将成为一纸空谈，失去原本的意义。风险与对策汇总如表 1-3 所示。

表 1-3 风险与对策汇总表

主要风险	风险起因	风险程度	后果与影响	主要对策
A				
B				
.....				

三、风险分析的理论基础

工程项目风险分析是风险分析理论在工程项目上的具体应用，包括风险分析、系统工程和项目管理三个方面。其中，风险分析属经济学和管理学研究分支；系统工程涉及系统学和运筹学；项目管理隶属于管理科学与工程下的学科。从这个意义上说，本书研究对象横跨了经济学、系统工程学和管理学三个学科。

风险分析有七大理论作为基础，分别是不确定性理论、概率论、投资组合论、系统动力学、效用理论、信息博弈论和信息熵理论。

（一）项目风险分析相关理论

1. 不确定性理论（Uncertainty Theory）

不确定性理论源于量子力学的不确定性原理，后被引申至其他学科。项目风险不确定性

理论认为,风险管理主体只能选择和控制自身的决策行为,而无法预知未来的收益和损失,亦无法控制后果。即使在项目前期已全面分析研究了市场、财务、技术、人员、硬件条件和软环境,未来的项目状况和实际结果依然可能会偏离预期,潜在风险仍然存在。

2. 概率论 (Probability Theory)

概率论起源于机会游戏——赌博,它以随机事件为研究和处理对象,试图分析随机不确定性现象所隐含的必然规律,并用数学统计等方法研究并表征该现象及其结果出现的可能性,简而言之,即量化所预测的不确定性程度。运用至工程项目风险管理之中,则可以帮助风险管理者推演风险的形成机理,预测风险事件发生的可能性。

3. 投资组合论 (Portfolio Theory)

马柯维茨于 1952 年提出均值-方差投资组合模型,即以期望投资收益为均值,收益方差为投资风险,来确定有效投资组合。理想的投资组合应是均值大、方差小,但在实际操作中,最优选择并不容易把握。研究表明,绝大多数投资者的选择甚至与该原理完全相悖(姜青舫, 2006)。但投资组合理论在工程项目风险管理的应用中仍有一定的指导和借鉴意义。

4. 系统动力学 (System Dynamics)

系统动力学横跨自然科学和社会科学,是一门包含系统论、结构论、信息论、控制论、协同论、功能论、历史论等的综合性学科。系统动力学以系统行为为基础,依据内在机制的相互关系,采用定性和定量相结合的系统分析、综合推理、结构功能模拟等方法来收集、反馈信息,研究并处理复杂系统问题,并寻求最优方案。由于项目实施过程是项目内部诸多要素以及项目与外部环境作用的动态过程,采用封闭、静态的处理方法往往不能取得很好的效果。系统动力学理论能很好地弥补这个空缺,利用系统动力学可以对 R&D 项目动态管理、业主与项目各参与方的关系、设计与工作范围变更等多个领域的问题进行广泛深入的研究。

(二) 项目风险控制相关理论

1. 效用理论 (Utility Theory)

效用理论反映投资者对收益和损失的敏感程度,即决策者对风险的偏好(如风险回避、风险爱好或风险中性等),可用来解决投资者对风险收益和风险水平的选择问题。效用是一个经济学概念。在经济学中,效用被定义为精神满足感和财富之间的关系,是衡量投资给投资者带来的精神收益(Psychic Gain)或满足程度的尺度,其大小取决于个人的效用函数。个人效用函数可以以一定收益水平上个人投资效用的公式或曲线加以反映。需要注意的是,效用理论在有限理性的条件下,有相当的局限性。此外,不同决策者的风险偏好不同、效用函数有异,而同一决策者,在不同的时间、情形下,对待同一问题的效用曲线也可能有所变化。因此,在实际操作中,建立决策者效用函数往往较为困难。

2. 信息博弈论 (Game Theory)

项目决策时,对手的存在常常会增加不确定性,这时不但要考虑策略因素,也需要考虑竞争对手的心理因素。博弈论是研究在相互依存或影响的条件下,具有不同利益的决策主体,如何进行决策,及有关这种决策的均衡问题的理论。博弈论模型则旨在为决策者提供在竞争条件下最优或最稳妥的决策方案,使回报最大化而风险最小化。当决策各方互相掌握其他参与者的全部信息时,称其为完全信息博弈,否则为不完全信息博弈。

3. 信息熵理论 (Entropy Theory)

信息的传递可以降低不确定性,当某一信息出现频率较高时,说明其被引用次数多、被

传播的范围广，意味着较高的价值。熵是一个系统的状态函数，是对系统无序程度或混乱程度的度量和对不确定性的最佳测度，同时又间接反映了时空量测信据特征，是现代动力系统和遍历理论的重要概念。

香农于 1948 年提出，所有信息均存在冗余，信息中每个字符出现的不确定性决定了冗余大小，信息熵即是信息出现的概率，可以反映信息的价值。若将熵看作概率分布的泛函，则当信息熵取最大值时，概率分布最优，因此，可用最大熵原则确定相应的满足约束条件（已知信息）的最小偏差的概率分布，从而避免风险分析对先验概率分布人为假定的不足。

上述理论只是工程项目风险分析理论的一部分。统计学理论、心理预期理论（Prospect）、决策理论、随机模拟、混沌论和基于以上一些理论综合运用而产生的方法或模型，都对工程项目风险分析起到理论支撑的作用，为解决项目风险分析中的实际问题提供了丰富的方法。