

贝叶斯网络模型对风险因素的分析*

闫坤如

[摘要] 风险是一种不确定性后果发生的可能性，风险的不确定性来源于世界图景的非决定性、技术理性的局限性、主体认知的有限性以及研究程序的逻辑倒置等。贝叶斯网络模型作为因果性和随机性结合的模型，可以排除风险中的不相关因素，而且能够通过概率值的变化来表示风险发生的支持概率。

[关键词] 风险 概率 不确定性 贝叶斯网络

[中图分类号] N03 [文献标识码] A [文章编号] 1000-7326 (2015) 03-0027-05

一、风险是可能性和危害性的函数

风险是一种潜在的可能性，例如，房屋有发生火灾的风险，汽车有发生碰撞的风险，决策有失误风险，新技术有开发和使用风险，房地产有投资风险，经营管理过程中有管理风险，资源开发过程中有资源风险，等等。风险发生后会出现不利于社会生产和人类生活的危害。所谓风险是指发生这种危害性后果的可能性。风险是一种不确定性因素，危害性后果是否发生是不确定的。弗兰克·奈特（Frank H. Knight）认为：“风险表示的是一种不确定性和不确定性的结果。”^[1] 斯特恩（S. B. Sitkin）和帕布罗（A. Pablo）认为风险包括三个纬度：结果的不确定性（Outcome Uncertainty）、结果的预期（Outcome Expectations）、结果的可能性（Outcome Potential）。^[2] 正如乌尔里希·贝克所说：“风险这个概念与可能性和不确定性概念是分不开的。”^[3] 可以说，风险包括三个方面的因素：第一，风险指的是事件发生偏离主体意愿的可能性，也就是说风险会带来危害性后果；第二，风险是不确定性的危险；第三，风险表示引起某种结果或者危害性后果的可能性。如果用 R 表示“风险”，P 表示“风险发生的可能性”，也就是“风险发生的概率”，用 H 表示“事件发生的后果”，也就是风险危害性，风险就可以表示为事件发生的概率（probability）及其危害性（harm）的函数：

$$R=F(P, H)$$

其中：R——风险程度

P——风险发生的概率

H——风险发生后的危害

* 本文系教育部哲学社会科学研究重大课题攻关项目“当代技术哲学的发展趋势研究”（11JZD007）、国家社科基金“基于公共安全视角的工程风险认知与治理机制研究”（14BZX026）的阶段性成果。

作者简介 闫坤如，华南理工大学马克思主义学院副教授（广东 广州，510640）。

度看，风险可描述为与不确定性相联系的损失的可能性，我们先排除风险不相关因素，保留风险相关因素；第二，从定量的角度看，风险可描述为实际结果偏离预期结果而导致的危害的可能性，我们用贝叶斯网络模型刻画引起风险的相关因素，同时计算出某个具体因素引起风险的概率。

三、风险因素的相关性分析

风险的发生涉及多个因素，某个具体的风险发生的概率可能未必跟所有因素相关，因此界定风险因素成为分析风险的前提。所谓风险因素指的是促使或引起风险发生或风险发生时致使损失增加、扩大的原因或条件。“桥梁坍塌”的风险与设计因素、施工因素、材料因素、维护和管理因素等相关。对于具体的某个桥梁坍塌的风险，我们先要分析哪些因素是风险发生的相关因素，哪些因素是风险发生的不相关因素。如果我们用 A 代表“设计因素”，B 代表“施工因素”，C 代表“材料因素”，D 代表“维护和管理因素”，用 Bc 表示“桥梁坍塌 (Bridge collapse)”，那么“桥梁坍塌”的风险概率可以用函数式表达为 $P(Bc, A \wedge B \wedge C \wedge D)$ 。这表示设计因素、施工因素、材料因素、维护和管理因素等导致了“桥梁坍塌”发生的概率。但具体的桥梁倒塌原因并非都涉及这四个方面的因素，那么如何确定风险概率中的相关因素和不相关因素呢？我们可以通过风险概率值的相关关系来确定风险相关因素。

如果 $P(Bc, A \wedge B \wedge C \wedge D) = M$

$P(Bc, \neg A \wedge B \wedge C \wedge D) = N$

在上式中，如果 $M \neq N$ 时，A “设计因素” 是“桥梁坍塌”的风险相关因素，因为 A 出现和不出现“桥梁坍塌”的概率是不相同的。按照同样的模式，也可以推导出 B “施工因素”、C “材料因素” 以及 D “维护和管理因素” 是否为风险相关因素。

通过上述逻辑表达式，我们可以确定某个因素是否为风险相关因素，但是我们不能根据上述表达式排除风险的不相关因素。例如，我们根据上述表达式明确 A “设计因素” 是“桥梁坍塌”的风险相关因素，那么，“ $B \wedge C \wedge D$ ” 也即“施工因素”“材料因素” 以及“维护和管理因素” 是否为风险的不相关因素呢？根据传统逻辑联言判断的知识我们知道肯定一部分联言支，不能否定一部分联言支，因此，我们不能由此逻辑表达式排除风险不相关因素。我们需要通过以下逻辑表达式才能筛选出风险不相关因素。

如果 $P(Bc, B \wedge C \wedge D) = P(Bc, B \wedge C \wedge \neg D)$

$\neq P(Bc, B \wedge \neg C \wedge D)$

根据上式，D “维护和管理因素” 的出现和不出现风险的概率值是相同的，这说明因素 D “维护和管理因素” 是“桥梁坍塌”中风险不相关的因素，而因素 C “材料因素” 的出现和不出现得到的概率值是不相同的，那么，C “材料因素” 是“桥梁坍塌”中风险相关的因素。不论引起风险发生的因素多么复杂，我们通过上述两个表达式就可以确定风险相关因素和风险不相关因素。

四、贝叶斯网络模型对风险的分析

1986 年，美国加州大学教授珀尔 (J. F. Pearl) 针对不确定性知识提出贝叶斯网络 (Bayesian network) 模型。^[8] 贝叶斯网络也称为因果网络 (Causal Networks)，它是由图论和概率论结合描述多元统计关系的模型，是可以由贝叶斯概率理论与图形模式结合起来由有向无环图 (Directed Acyclic Graph, DAG) 来表示的模型。例如一个有向无环图表示如图 1。

图 1 的 A、B 和 C 代表节点。节点 A 和节点 C 两个节点间以一个单向箭头连接在一起，表示节点 C 的概率依赖于节点 A 的概率，节点 A 为父节点，节点 C 为子节点，连接父子两个节点的箭头代表这两个变量之间具有因果关系，这种关系是非条件独

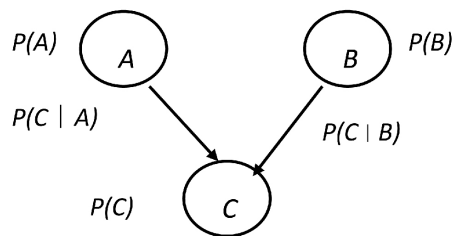


图 1

立的，节点 A 和节点 C 是非条件独立表示节点 C 的概率依赖于变量 A 的概率。同样，节点 B 和节点 C 之间有单向箭头连接，说明节点 C 的概率依赖于 A 的概率；节点 A 和节点 B 之间没有箭头连结表明 A 和 B 彼此条件独立，两个变量之间没有条件依赖关系。贝叶斯网络的有向无环图就是把具体问题中复杂的变量关系在一个网络结构中表示出来，通过网络模型中反映问题域中的随机变量 $\{X_1, X_2, X_3, \dots, X_n\}$ 及其 n 组条件概率分配以及变量的依赖关系表示节点之间因果影响强度。

贝叶斯网络模型是因果相关和随机相关的统一，贝叶斯网络作为有向无环图和节点概率分布的二元函数，节点集与随机变量一一对应；有向边集反映变量之间的因果依赖关系，从节点 A 到节点 C 的有向边表示 A 对 C 有直接的因果影响。

我们可以用贝叶斯网络模型中的有向无环图来表述“桥梁坍塌”的例子。例如，我们可以用 A 表示“建筑构造”， $P(A)$ 表示“建筑构造”的概率， $P(C|A)$ 表示“建筑构造”引起“桥梁倒塌”出现的概率。图 1 中 B 表示“自然灾害”， $P(B)$ 表示“自然灾害”的概率， $P(C|B)$ 表示“自然灾害”引起“桥梁倒塌”出现的概率。贝叶斯网络模型就是通过构建有向无环图来达到描述和计算风险的目的。我们根据贝叶斯网络模型的有向无环图可以对风险因素之间的关系有清晰的把握。

贝叶斯网络模型刻画的是因果关系的条件支持推理，对各种类型的因果关系都可以说明，比如在上例贝叶斯网络中，事件 A 或 B 的发生，会导致事件 C 发生。如果已知事件 A 和 B 同时发生，则可以知道事件 C 发生的概率，这就是贝叶斯网络模型中的同时性因果关系推理。除此之外，还有其他形式的因果关系。例如，“暴雨”使“桥梁承受过重”从而导致“桥梁坍塌”，这种因果关系是链式因果关系 (a)，还有一因多果 (b) 以及一果多因 (c) 关系，如图 2。

不管因果链条有多么复杂，只要明确各个节点之间的因果关系，我们就可以用贝叶斯网络模型的有向无环图表示。当然，刻画风险的链条可能因为风险因素复杂而导致有向无环图的结构复杂。贝叶斯网络模型作为对不确定性知识表达和解释的模型，是基于概率论基础上的推理，不管风险因素多么复杂，我们都能够运用贝叶斯网络模型的有向无环图进行刻画。也可以从复杂性风险因素中找到相关因果关系，不仅如此，贝叶斯网络模型还可以计算风险因素与危害性结果之间的支持概率。

例如，我们想明确“吸烟”导致“肺癌”风险危害的可能性，就先画出“吸烟”和“肺癌”以及导致“肺癌”风险因素的有向无环图，表明各个节点出现的概率。简化的有向无环图如图 3。

图 3 表示：“吸烟的人患肺癌”的概率为“吸烟患肺癌又受大气污染的概率”与“吸烟患肺癌且不受大气污染的概率”之和，利用贝叶斯定理，我们可以得到：

$$\begin{aligned} \therefore P(L|S) &= P(L, A|S) + P(L, \neg A|S) \\ P(L, A|S) &= P(L, A, S) / P(S) = P(L|A, S) \cdot P(A|S) \\ \therefore P(L|S) &= P(L|A, S) \cdot P(A|S) + P(L, \neg A, S) \cdot P(\neg A|S) \\ \therefore P(A|S) &= P(A), P(\neg A|S) = P(\neg A) \\ \therefore P(L|S) &= P(L|A, S) \cdot P(A) + P(L, \neg A, S) \cdot P(\neg A) \end{aligned}$$

通过以上公式，我们就可以推导出 $P(L|S)$ 的概率。也就是用贝叶斯网络对“某吸烟者人患了肺癌，但没有高血压”概率，也就是“吸烟”仅仅引起“肺癌”风险而没有其他病症的风险的概率值。这个概率取值范围在 0 和 1 之间，也就是说 $0 < P < 1$ 。概率值为高概率说明其引起风险危害出现的可能性大，反之，说明其引起风险危害出现的可能性小。

在贝叶斯网络模型中，如果 A 引起 C 的概率的变化，那么 A 就与 C 的风险发生具有相关性。如果 A 恒定增加 C 出现的概率，那么这种因素可以加快风险发生，例如设计不合

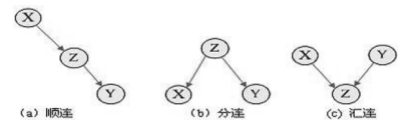


图 2

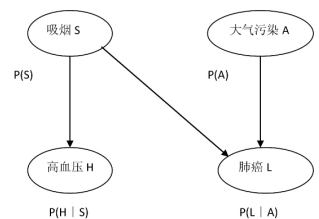


图 3

理、自然灾害频发、管理不当等可以促使“桥梁坍塌”风险的出现；如果 A 恒定减少 C 出现的概率，那么这种因素可以减缓风险发生，例如设计合理、管理规范、施工符合标准等可以避免“桥梁坍塌”风险的出现。在分析风险因素过程中，概率是很重要的，只要这个因素能够改变风险出现概率值的变化就是相关因素，而不管其风险发生的概率的绝对数值。如果患“肺癌”的概率是万分之一，“吸烟者”患“肺癌”的概率是万分之一点五，这就是说明“吸烟”是“肺癌”发生的风险相关因素，因为“吸烟”引起“肺癌”风险发生概率的改变，而不能因为其引起“肺癌”发生的概率值比较小而不把其作为风险相关因素。有的风险发生概率比较高，比如投资失败的风险可能高于 50%，如果资金充足、调研充足那么投资失败的风险概率是 40%。这表明投资风险的概率值较高，但“资金充足”和“前期调研充分”是引起投资风险发生概率改变的因素。不管这个概率值的改变是万分之零点五还是 10%，只要这个因素引起结论的变化，那么，这个因素就是风险相关因素。

需要强调的是，风险计算只针对能够确定的风险因素而言的，比如桥梁坍塌虽然涉及自然环境、工程设计、建筑材料、人为因素等方面的复杂性关系，但是桥梁坍塌的概率值是能够确定的；至于这个桥梁是否必然坍塌以及坍塌的具体时间我们是不能确定的，我们只能根据这些风险因素，采取措施避免风险，降低风险，分散风险，转移风险，有效地对风险进行规避和控制。但有些风险目前是无法确定的，比如转基因食品、生物技术、能源技术、信息技术等一些新兴技术发展是否对人体造成危害的风险以及是否对破坏环境的风险具有非确定性。对于这些技术我们应该采取谨慎的态度，先小规模实验，再慢慢扩大规模，最后再投入生产和使用。由于人类认知的有限性，即使是目前经过检验没有风险的技术，随着科技的发展，其安全性是否遭到质疑也不能确定。比如 DDT、抗生素都经受住检验，但却对人体和环境的危害造成不可挽回的损失。

上述贝叶斯网络模型对风险因素的分析是简化处理，真实风险因素具有复杂性，风险的范畴也是个复杂系统。我们在考察风险和风险因素的时候，不能孤立分析风险因素，应该把政治风险、经济风险、物质风险、心理风险、环境风险、资源风险等作为一个风险系统来对待，这样才能通过计算风险因素引起某一个方面风险的概率值来规避和控制风险。

[参考文献]

- [1] Knight, F., *Risk Uncertainty and Profit*, Boston: Houghton Mifflin, 1999, p.26.
- [2] Sitkin, S. & Pablo, A., “Reconceptualizing the Determinants of Risk Behavior”, *Academy of Management Review*, 1992, 7 (1), pp.9-38.
- [3] [德] 乌尔里希·贝克：《风险社会》，何博闻译，南京：译林出版社，2004 年。
- [4] [比利时] 普利高津：《确定性的终结——时间、混沌与新自然法则》，湛敏译，上海：上海科技教育出版社，1998 年，第 2 页。
- [5] [德] 马克斯·韦伯：《经济与社会》上卷，林荣远译，北京：商务印书馆，1997 年，第 56 页。
- [6] [加] 查尔斯·泰勒：《现代性之隐忧》，程炼译，北京：中央编译出版社，2001 年，第 5 页。
- [7] [德] 乌尔里希·贝克、约翰内斯·威尔姆斯：《自由与资本主义》，路国林译，杭州：浙江人民出版社，2001 年，第 127 页。
- [8] Pearl, J. F., “Propagation and Structuring in Belief Networks”, *Artificial Intelligence*, 1986, 29 (3), pp.241-288.

责任编辑：罗 苹