

# 基于贝叶斯网络的电力工程项目延迟风险研究

李蒙, 张云波

(华侨大学 土木工程学院, 福建 厦门 361021)

**摘要:**将电力工程项目发生延迟的各个风险因素通过 BN 模型进行了量化,结果显示,天气状况恶劣、项目时间计划过紧、技术工种能力低、缺乏先进设备仪器和供应商不能按时供货这 5 种风险因素会直接对项目的延迟产生影响;供应商不能按时供货、技术工种能力低、项目计划安排不当 3 种风险因素对项目的延迟十分敏感. 项目经理应该重点控制这些敏感因素.

**关键词:**贝叶斯网络;延迟风险;电力工程项目

**中图分类号:**T9 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1004-1478.2012.04.025

## Research on schedule risk in power construction project using Bayesian network

LI Meng, ZHANG Yun-bo

(School of Civil Eng., Huaqiao Univ., Xiamen 361021, China)

**Abstract:** Schedule risk factors of power projects are quantified by Bayesian networks (BN) model. Results showed that five kinds of risk factors such as poor weather conditions, tight project schedule, low-skilled jobs, lack of equipment and not timely supplier will directly impact on project schedule. Factors including not timely supplier, low technical work ability, improper plan arrangement are sensitive to project schedule, which should be the focus of control.

**Key words:** Bayesian network; schedule risk; power construction project

## 0 引言

风险管理是项目施工与管理研究中的一个重要领域<sup>[1]</sup>. R. Miller<sup>[2]</sup>曾指出,在项目实施的初期,风险的识别和管理对项目最终是否成功起着决定性作用.对于电力工程项目来说,风险管理尤为重要.众所周知,项目成功实施与科学的进度安排密不可分.然而,项目进度具有较大的不确定性,经常发生延迟,各个项目利益相关者可能因此遭受损失<sup>[3]</sup>.因此,确定项目延迟发生的概率就显得很重

要.目前,无论在定量还是定性方面,风险度量的方法都有很多,大多是在传统概率方法的基础上,如风险测量、敏感性分析、概率分析、模糊逻辑技术、影响图以及 AHP 等<sup>[4-6]</sup>,然而,这些方法都没有清晰全面地表达项目工程项目风险间的相互作用关系.

电力工程项目工期长、参与者众多,使得整个项目周期中存在大量风险,且风险之间呈现多种类、高关联的特征.忽略风险之间相互作用的关系就不可能准确地度量风险发生的概率,也会造成研

收稿日期:2011-11-03

基金项目:华侨大学高层次人才引进人才基金项目(11BS415);国务院侨办基金项目(11QZR06)

作者简介:李蒙(1984—),男,湖北省武汉市人,华侨大学讲师,博士,主要研究方向为土木工程施工与管理.

究结果失真. 目前,国内外关于风险之间依赖关系的研究还不是很深入,且主要集中在基于概率的计算方法上,贝叶斯网络 BN (Bayesian network) 却少见于风险依赖的文献之中. 董立岩<sup>[7]</sup>指出应用 BN 来建模风险的优势在于:BN 模型具有非对称性,数据可以在任意 1 个节点输入,其余节点可以自动被重新计算. 一旦 BN 被建立,模型的逻辑结构从各个方面都不会受到限制. 因此,本文拟基于 BN 模型来研究电力工程项目的延迟风险,计算风险发生的概率,进而提出相应的管理策略.

## 1 BN 模型

### 1.1 BN 的表示

BN 是表示变量间概率依赖关系的有向无环图,可以表示为  $G = \langle N, A, \theta \rangle$ , 这里的  $G$  代表有向无环图,  $N$  表示图中的各个节点. 本文定义每个节点都为—个领域变量,  $A$  表示变量之间的概率依赖关系,每个节点都对应一个条件概率分布表,这些条件概率分布表明该变量与母节点之间的概率依赖关系,  $\theta$  则表示条件概率分布表的参数.

BN 的一个关键特征是它提供了一种把联合概率分布分解为局部分布的方法,换句话说,BN 的图形结构编码了变量之间的概率依赖关系,具有清晰的语义特征,这种独立的语义说明了如何组合这些局部分布以便计算变量之间的联合分布.

在 BN 的定量部分给出了变量之间不确定的数值度量. 本文用  $X = \{X_1, X_2, \dots, X_m\}$  表示节点或者领域变量,用  $x = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$  表示变量的取值,则 BN 的联合概率分布可以表示为

$$P(x) = \prod_i P(x_i | \text{parent}(x_i)) \quad (1)$$

### 1.2 独立关系

BN 是联合概率分布的简化表示形式,可以计算变量空间的任意概率值. 当变量数目很大时,运用联合概率分布进行计算通常是不可行的,概率数目是变量数目的指数幂,计算量极大. BN 利用独立因果影响关系解决了这个难题. BN 中 3 种独立关系分别是条件独立、上下文独立及因果影响独立. 3 种独立关系旨在把联合概率分布分解成更小的因式,从而达到节省存储空间、简化知识获取和领域建模过程、降低推理过程中计算复杂性的目的,因此可以说独立关系是 BN 的灵魂.

### 1.3 BN 推理

BN 推理旨在通过联合概率分布公式,在给定的网络结构和已知证据下,计算某一事件发生的概率. 理论上,在给定的网络结构和概率分布表的情况下,任何查询都可以通过反复应用贝叶斯公式和乘积与求和公式而实现. 常见的推理方法可以分为精确推理和近似推理,这些推理算法包括图约简算法、Polytree 算法、Junction 树算法及随机模拟算法.

## 2 延迟风险研究框架

笔者首先对从事电力工程项目的专家就施工过程中存在的延迟风险问题进行问卷调查,得出 12 个影响电力工程进度的主要风险因素. 在此基础上,应用 BN 模型构建风险因素之间的因果关系图,并对风险因素进行定量分析. 最后,利用 BN 模型的评价结果,得出相应的结论和建议. 基于 BN 的电力工程项目延迟风险的研究框架见图 1.

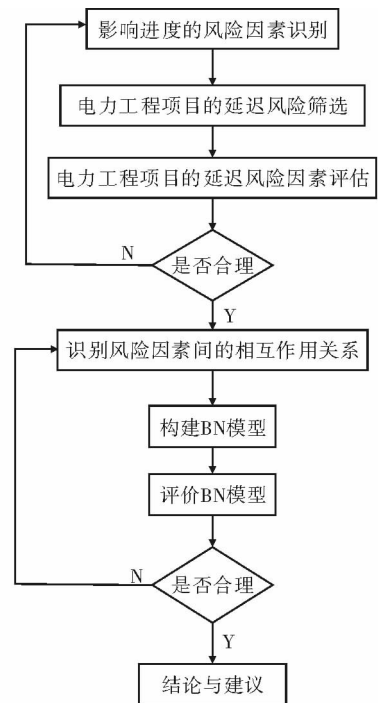


图1 基于BN的电力工程项目延迟风险的研究框架图

## 3 电力工程项目延迟风险的识别

本文采用比较方便的非概率抽样. 非概率抽样,又称为不等概率抽样或非随机抽样,就是调查者根据自己的习惯或主观判断抽取样本的方法. 笔

者采用该方法对参与问卷的被调查者的特征进行分类,结果见表 1.

表 1 问卷调查者的特征分析表 %

项目	教育背景				工作年限/a				项目类型			
	大专	学士	硕士	博士	≤5	5-10	10-15	≥15	核电	火电	水电	电网
比例	23.5	67.9	7.4	1.2	2.5	17.3	43.0	37.2	22.2	54.8	14.0	9.0

通过国际学术会议、电子邮件、现场问卷调查、专案访谈 4 种渠道发放问卷 100 份,收回问卷 88 份,其中 10 份为无效问卷.通过 4 种渠道发放问卷的比例分别为 60%,7%,17% 和 16%.由于发放问卷的方式属于非概率抽样,必然会产生一定的误差.非概率抽样的样本值的确定通常为 50~200,本文确定的样本数量为 100.误差计算采用信度检验的方法.信度检验主要是检验多个项目之间的内部一致性,较为常用的信度系数是  $a$ ,其计算公式为

$$a = \frac{K}{K+1} \left[ 1 - \left( \frac{\sum_{i=1}^K \delta_i^2}{\sigma_T^2} \right) \right]$$

其中,  $K$  表示样本数量总数,  $\delta_i^2$  表示第  $i$  个问题项得分的内部方差,  $\sigma_T^2$  表示所有问题总得分的方差.

另外,本文认为,产生无效问卷的主要原因有 2 个:一是有些被调查者的态度过于草率,如许多问题集中于某一两个数字;二是问卷中有较多的问题没有填写,被遗漏了.这样,收回的有效样本数为 78 份,该调查问卷的有效答复率为 78%,根据 S. Q. Wang<sup>[8]</sup> 的论点,这个答复率是有效的.

为了识别主要延迟风险因素,本文参考了均值和信度系数.均值表示风险事件的重要程度,信度系数则表示测量的可靠性和稳定性.当均值和信度系数分别大于 3.5 和 0.8 时,风险因素被视为主要因素,表 2 是按照均值排序的风险因素.

## 4 基于 BN 的建模与度量

### 4.1 延迟风险因素之间相互作用关系

本阶段的目的是对应出表 2 所列出主要风险因素之间的相互作用关系,通常又可以理解为风险因素之间的因果关系.在表 2 所示 12 种主要风险的基础上,笔者利用 BN 的推理建立了有向无环图,得出了 14 对因果关系<sup>[9-10]</sup>.其中,表 2 中所识别的 12 种主要风险依次对应为  $A_1, A_2, \dots, A_{12}$ ,而  $A$  表示的是电力工程项目的延迟风险.调查表为风险因素之间

表 2 主要延迟风险因素

排序	延迟风险	均值	$a$
1	电力承包商偿还困难	4.25	0.85
2	项目时间计划过紧	4.12	0.87
3	政府审批程序过繁	4.01	0.81
4	项目甲方资金问题	3.97	0.83
5	项目计划安排不当	3.94	0.86
6	项目经理能力有限	3.88	0.81
7	天气状况恶劣	3.80	0.84
8	标的价格过低	3.73	0.82
9	技术工种能力低	3.70	0.84
10	供应商不能按时供货	3.67	0.81
11	物价波动	3.54	0.86
12	缺乏先进设备仪器	3.52	0.83

的相互作用关系图,它是对 88 名电力工程专家的调查汇总后的结果.调查表是一个矩阵表格,表格的左方(因)和上方(果)分别对应着 12 种主要风险.我们要求专家对表中的因果关系进行打分.其中 4 分表示“具有很强的因果关系”,3 分表示“具有因果关系”,2 分表示“具有一定的因果关系”,1 分表示“有微弱因果关系”,0 分表示“没有因果关系”.该问卷是通过电话及电子邮件的方式发放的,88 份问卷都得到了回复,回复率为 100%.本文取均值超过 3.0 作为依赖关系的选择依据,得出的风险因素之间的作用关系见图 2.

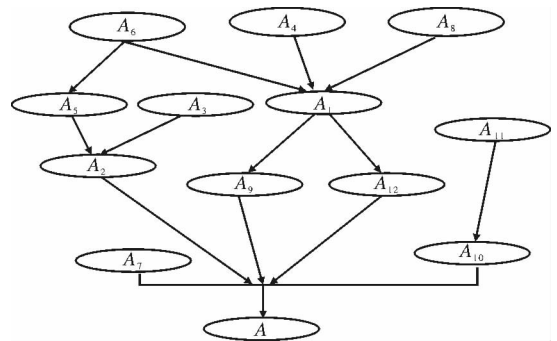


图 2 风险因素之间作用关系

### 4.2 模型的构建

基于识别出的 12 种主要风险以及 14 对因果关系,可以构建出 BN.假定每个风险因素只有 2 种状态,即发生和不发生.根据已知的各个风险因素的连带关系,由公式①可以得出各个主要风险发生的条件概率(见表 3),而最终求得的延迟风险  $A$  发生的概率为 0.65.

### 4.3 结果分析

从表3中可以清楚地看出项目各个利益相关者的责任.例如,项目供货商应认识到按时提供项目所需材料对减少延迟起着决定作用,且发生的概率约为71%,因为“电力承包商偿还困难”发生的概率约为73%,项目承包商就应重点准备好偿还资金避免延迟的发生;项目的拥有者也应该重点关注自身的资金问题;项目的设计方最应该注意“项目时间计划过紧”,应在初步设计方案中仔细规划项目的进度安排以使项目能够顺利完工<sup>[11]</sup>.

表3 风险因素的条件概率

延迟风险	发生	不发生
电力承包商偿还困难	0.73	0.27
项目时间计划过紧	0.86	0.14
政府审批程序过繁	0.77	0.23
项目甲方资金问题	0.78	0.22
项目计划安排不当	0.79	0.21
项目经理能力有限	0.68	0.32
天气状况恶劣	0.55	0.45
标的价格过低	0.67	0.33
技术工种能力低	0.73	0.27
供应商不能按时供货	0.71	0.29
物价波动	0.73	0.27
缺乏先进设备仪器	0.63	0.37

另外,根据BN进行敏感性分析可以帮助项目经理有效地决策,防止延迟风险的发生.例如,根据贝叶斯独立关系及随机模拟算法可以得出,当“供应商不能按时供货”不发生时,项目发生延迟的概率约为62%;而当“天气状况恶劣”不出现时,项目发生延迟的概率可以降为61%.由此可知,有些风险因素对项目的延迟不敏感,而有些因素,如“供应商不能按时供货”、“技术工种能力低”以及“项目计划安排不当”对项目的延迟十分敏感.项目经理可以重点控制这些敏感因素以防止延迟风险的发生.

## 5 结论

本文将电力工程项目发生延迟的各个风险因素通过BN模型进行了量化,得到了导致电力工程项目延迟的12个主要风险因素,并在此基础上得到了14对主要风险因素的相互作用关系图.结果显示,天气状况恶劣、项目时间计划过紧、技术工种能力低、缺乏先进设备仪器和供应商不能按时供货这

5种风险因素会直接对项目的延迟产生影响,为直接作用因素,其他7种风险因素对项目延迟产生间接影响.

本文基于给出的12个主要风险因素和14对因果关系,应用BN模型度量出风险因素发生的概率.通过对模型结果进行敏感性分析,发现供应商不能按时供货、技术工种能力低、项目计划安排不当3种风险因素对项目的延迟十分敏感.项目经理应该重点控制这些敏感因素.

本文针对电力工程项目的延迟风险进行了研究,但还存在不足.如每个风险因素只被分成发生和不发生2种状态,但现实情况往往不是那么简单.因此,针对实际的电力工程项目,应用BN模型时需进行适当的调整,这是今后的工作重点.

### 参考文献:

- [1] Raz T, Michael E. Use and benefits of tools for project risk management[J]. Int J of Project Mana, 2001, 19(1):9.
- [2] Miller R, Lessard D. Understanding and managing risks in large engineering projects[J]. Int J of Project Mana, 2001, 19(8):437.
- [3] Zou P X W, Zhang G M, Wang J Y. Identifying key risks in construction projects: Life cycle and stakeholder perspectives[C]//Proc 12th Pacific Rim Real Estate Society Conf, Auckland:IEEE, 2007.
- [4] 徐莉. 技术经济学[M]. 武汉:武汉大学出版社, 2003.
- [5] 刘晓君, 刘洪玉. 工程经济学[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2008.
- [6] 蒋晓静, 黄金枝. 工程项目的风险管理与风险监控研究[J]. 建筑技术, 2005(7):537.
- [7] 董立岩. BN应用基础研究[D]. 吉林:吉林大学, 2007.
- [8] Wang S Q, Tiong R L K, Ting S K, et al. Evaluation and management of foreign exchange and revenue risks in China's BOT projects[J]. Constr Manage Econom, 2000, 18(2):56.
- [9] 樊宁. 贝叶斯网络推理算法研究[J]. 信息技术, 2011(2):35.
- [10] 冷翠平, 王双成, 王辉. 动态贝叶斯网络结构学习的依赖分析方法研究[J]. 计算机工程与应用, 2011(3):145.
- [11] 赵红, 李雅菊, 宋涛. 基于BN工程项目风险管理[J]. 沈阳工业大学学报:社会科学版, 2008, 7(3):240.