

# 建筑施工阶段动态识别安全风险的指标体系构建\*

胥彦国, 侯学良

(华北电力大学工程技术与管理研究所, 北京 102206)

**摘要:** 建筑工程施工阶段, 动态识别安全风险更加符合安全风险发生的客观规律。借鉴建筑工程项目病态表象谱的研究成果, 提取影响安全状态的指标, 并运用序关系法、唯一参照物比较判断法和重要度分析法确定指标权重。在此基础上, 以分项工程为研究单位构建相应的指标体系, 进而对整个施工阶段的安全风险进行动态识别, 以保证施工阶段中安全风险识别的科学性和准确性。

**关键词:** 建筑施工; 动态识别; 安全风险; 指标体系

中图分类号: F407.9 文献标识码: A 文章编号: 1002-851X (2016) 03-0102-04

DOI: 10.14181/j.cnki.1002-851x.201603102

## Construction of Index System for Identifying Security Risks Dynamically in the Building Construction Phase

ZAN Yanguo, HOU Xueliang

(Engineering Technology and Management Institute, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

**Abstract:** In the building construction phase, dynamic identification to find security risks is more consistent with the objective law of security risk. So referring research results of the construction projects morbid appearances spectrum, extracts indicators affecting security status, and uses the sequence relations act, the only reference comparison and judgment method and an important analysis method to determine the index weights. On this basis, takes the subentry engineering as a research units to construct the corresponding index system, and thus dynamically identifies the security risk of the whole construction phase, ensures scientific and accuracy identification of security risk in the construction phase.

**Keywords:** building construction; dynamic recognition; security risk; index system

## 1 引言

建筑工程项目安全事故大多发生在施工阶段, 因此对施工阶段安全风险的识别显得尤为重要。通过查阅和分析文献发现, 现阶段对建筑工程项目施工阶段安全风险的识别研究未考虑到安全风险状态的连续性。运动

是绝对的, 静止是相对的, 采用动态识别安全风险的方法, 把前一阶段的安全风险状态考虑进去, 使其更加符合安全风险发生的客观规律, 从而可以更好地识别安全风险, 进而采取有效措施, 以达到减少或者避免安全事故发生的目的。

## 2 安全风险的影响因素的作用机理

事故的致因理论从不同角度阐述了致使安全事故发生的原因, 虽然有所不同, 但还是形成了一些共识: 事故的发生是一个复杂的随机事件, 受多个因素影响, 主要包括人的不安全行为、物的不安全状态、工艺技术上的缺陷、管理上的失误和环境及其他方面的不适应等多个方面。人的不安全行为和物的不安全状态是事故发生

\*基金项目: 国家自然科学基金项目 (71171081)

作者简介: 胥彦国, 男, 生于1987年, 河北邯郸人, 硕士研究生, 研究方向: 建设工程安全管理, 工程技术与管理, 安全风险识别。  
侯学良, 男, 生于1966年, 山西太原人, 教授, 博士生导师, 研究方向: 工程实用技术开发与管理, 建设工程项目管理, 大型项目分阶诊断。

收稿日期: 2015-10-16

的直接原因,而人是事故发生最重要的一个因素,管理因素及其他因素是事故的贡献因素。

建筑工程项目的施工阶段是一个长期、复杂的过程,变化是不可避免的,但是这些变化并非全是不好的,只是说变化过程更易诱发各种失误,致使非正常释放的能量作用于上述五个方面的因素,使得事故发生。借鉴事故致因理论,结合现阶段建筑工程施工安全的实际,发现工程安全事故的发生是由外界的变化引起的,外界的变化致使人、物、管理、施工工艺、外部环境等的不适应,使得建筑工程施工过程存在安全风险,并最终发生安全事故,造成人的伤亡和物的损坏,其作用过程如图1所示。

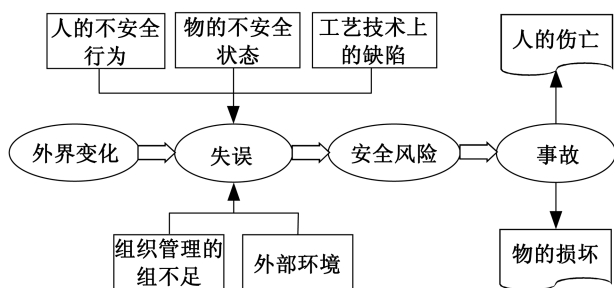


图1 建筑工程项目事故致因分析

### 3 建筑施工安全风险的动态识别过程

建筑工程项目安全风险的状态是一个连续变化着的动态的过程,因此,动态识别安全风险遵循了事物的发展规律,更符合建筑施工的实际。为了动态地识别建筑工程项目安全风险,就有必要建立动态识别安全风险的模型,对建筑工程的安全风险进行研究。首先要确定安全风险的初始状态,然后通过指标函数得出当前指标对安全风险的影响,进而得出状态转移函数,确定出下一个状态的安全情况,如果安全就不需要对当前状态进行调整,直接进入下一状态,否则,进行调整。然后再对其进行风险识别,确定其安全风险的状态。建筑工程项目安全风险的动态识别过程如图2所示。

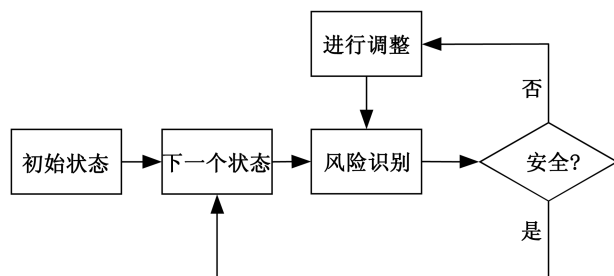


图2 建筑工程项目安全风险动态识别过程

动态识别安全风险是建立在定性分析与定量分析

相结合的基础之上。设安全风险状态为 $S$ ,各个影响因素为 $x_i$ ,其中 $i=1, 2, \dots, n$ ,则建筑工程项目施工过程中的安全状态可用以下式子表示:

$$S=f_0(x_1, x_2, x_3 \dots x_i \dots), i=1, 2, \dots, n$$

当建筑工程项目所处的阶段不同,影响安全风险的因素也会不同,也就是说,上式中的 $x_i$ 随着状态 $S$ 的不同变化着,只是指标的选取不同,而 $S$ 最终还是受所选取指标影响。鉴于此,要实现准确快速的动态识别的前提是提取影响安全状态的指标。

### 4 安全状态指标的提取

基于安全风险的影响因素的作用机理和大量的理论研究成果和工程实践可知,建筑工程安全风险状态主要与五大类因素有关,即人的不安全状态( $C_1$ )、物的不安全状态( $C_2$ )、技术工艺上的缺陷( $C_3$ )、组织管理上的不足( $C_4$ )、外部环境的不适应( $C_5$ )。其中,人既是影响建筑工程项目安全风险的主体,也是建设工程项目建设的决策者、管理者、操作者,人是影响工程安全的最重要因素;物的不安全状态是导致建筑工程不安全的主要原因之一;技术工艺为建筑工程项目提供合理和先进的手段,为保证建筑工程安全提供有力的支撑;组织管理可合理利用并优化人和资源的配置,是保证建筑工程安全进行的内在动力;环境及其他方面的因素是建筑项目施工安全的外在条件。

为了更好地控制以上五大类因素,需要把其变为可测变量,即转化为定量的特征,为此,就需要建立相应的指标。目前,相关文献以循证医学和诊断科学为指导,在全面调查获取建筑工程项目病态表象谱的基础上,提炼出了建筑工程项目实施状态诊断指标体系与诊断方法,并证明了其在工程实践中的可行性和有效性,为可靠地监测项目质量实施状态提供了理论依据。借鉴此项研究成果,通过对大量指标进行统计,剔除赘余的指标,选取相关人员违规率( $C_{11}$ )、作业人员技术水平达标率( $C_{12}$ )、作业人员超时作业率( $C_{13}$ )、监督人员配置率( $C_{14}$ )和过程监督到位率( $C_{15}$ )作为人的不安全状态( $C_1$ )的指标;设备安装达标率( $C_{21}$ )、材料检测达标率( $C_{22}$ )、施工机具达标率( $C_{23}$ )、机械维修保养合格率( $C_{24}$ )、设备故障率( $C_{25}$ )、设备无病作业率( $C_{26}$ )和安全防护设备合格率( $C_{27}$ )作为物的不安全状态( $C_2$ )的指标;施工技术合格率( $C_{31}$ )、设计变更率( $C_{32}$ )、施工方案完整率( $C_{33}$ )、技术交底有效率( $C_{34}$ )、防护措施有效率( $C_{35}$ )作为技术工艺上缺陷( $C_3$ )的指标;

规章制度完善率 ( $C_{41}$ )、安全管理制度标准率 ( $C_{42}$ )、专业安全管理人员占有率 ( $C_{43}$ )、安全管理问题协调性 ( $C_{44}$ )、安全费用到位率 ( $C_{45}$ ) 和责权分工明确率 ( $C_{46}$ ) 作为组织管理不足 ( $C_4$ ) 的指标; 基坑支护和模板工程达标率 ( $C_{51}$ )、脚手架达标率 ( $C_{52}$ )、“三宝、四口”防护达标率 ( $C_{53}$ )、施工用电达标率 ( $C_{54}$ )、文明施工达标率 ( $C_{55}$ ) 和作业环境达标率 ( $C_{56}$ ) 作为环境及其他方面的不适应状态 ( $C_5$ ) 指标。这些指标的标准及其具体计算方法可参见文献, 为保证指标的一致性, 对相关人员进行违规率 ( $C_{11}$ ), 作业人员超时作业率 ( $C_{13}$ ), 设备故障率 ( $C_{25}$ ), 设计变更率 ( $C_{32}$ ) 四个指标进行一致化处理。

$$x' = 1 - x$$

其中  $x$  为原指标值,  $x'$  为处理后的指标。

为了更好地发挥这些指标的作用, 需要进一步求出五大类因素各自的权重和具体指标在每一类因素下的重要程度, 通过比较, 运用序关系法确定五大类因素各自的权重: 首先对  $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$ 、 $C_4$ 、 $C_5$  进行排序, 具有的序关系为  $C_1 \succ C_4 \succ C_3 \succ C_2 \succ C_5$ , 记为  $x_1^* \succ x_2^* \succ x_3^* \succ x_4^* \succ x_5^*$ , 其中 “ $\succ$ ” 表示序关系。然后给出  $x_{k-1}$  与  $x_k$  间相对重要程度之比  $w_{k-1}/w_k = r_k$  ( $k=m, m-1, \dots, 2$ ), 其中  $r_k$  的赋值为: 1.0 (指标比具有同样重要性); 1.2 (指标比稍微重要); 1.4 (指标比明显重要); 1.6 (指标比强烈重要); 1.8 (指

表1 建筑工程项目安全状态指标体系分类及其重要程度

|                                                  | 五大类因素                  |      | 具体特征指标                    |              |
|--------------------------------------------------|------------------------|------|---------------------------|--------------|
|                                                  | 分类                     | 权重   | 指标                        | 重要程度 $\zeta$ |
| 建筑<br>工程<br>施<br>工<br>过<br>程<br>安<br>全<br>状<br>态 | 人的不安全状态 ( $C_1$ )      | 0.26 | 相关人员违规率 ( $C_{11}$ )      | 1.00         |
|                                                  |                        |      | 作业人员技术水平达标率 ( $C_{12}$ )  | 0.80         |
|                                                  |                        |      | 作业人员超时作业率 ( $C_{13}$ )    | 0.83         |
|                                                  |                        |      | 监督人员配置率 ( $C_{14}$ )      | 0.57         |
|                                                  |                        |      | 过程监督到位率 ( $C_{15}$ )      | 0.70         |
|                                                  | 物的不安全状态 ( $C_2$ )      | 0.18 | 设备安装达标率 ( $C_{21}$ )      | 0.73         |
|                                                  |                        |      | 材料检测达标率 ( $C_{22}$ )      | 0.63         |
|                                                  |                        |      | 施工机具达标率 ( $C_{23}$ )      | 0.77         |
|                                                  |                        |      | 机械维修保养合格率 ( $C_{24}$ )    | 0.63         |
|                                                  |                        |      | 设备故障率 ( $C_{25}$ )        | 0.67         |
|                                                  |                        |      | 设备无病作业率 ( $C_{26}$ )      | 0.57         |
|                                                  |                        |      | 安全防护设备合格率 ( $C_{27}$ )    | 0.73         |
|                                                  | 技术工艺的缺陷 ( $C_3$ )      | 0.20 | 施工技术合格率 ( $C_{31}$ )      | 0.73         |
|                                                  |                        |      | 设计变更率 ( $C_{32}$ )        | 0.67         |
|                                                  |                        |      | 施工方案完整率 ( $C_{33}$ )      | 0.73         |
|                                                  |                        |      | 技术交底有效率 ( $C_{34}$ )      | 0.63         |
|                                                  |                        |      | 防保措施有效率 ( $C_{35}$ )      | 0.77         |
|                                                  | 组织管理的不足 ( $C_4$ )      | 0.20 | 规章制度完善率 ( $C_{41}$ )      | 0.73         |
|                                                  |                        |      | 安全管理制度标准率 ( $C_{42}$ )    | 0.86         |
|                                                  |                        |      | 专业安全管理人员占有率 ( $C_{43}$ )  | 0.57         |
|                                                  |                        |      | 安全管理问题协调性 ( $C_{44}$ )    | 0.63         |
|                                                  |                        |      | 安全费用到位率 ( $C_{45}$ )      | 0.70         |
|                                                  |                        |      | 责权分工明确率 ( $C_{46}$ )      | 0.83         |
|                                                  | 环境及其他方面不适应状态 ( $C_5$ ) | 0.16 | 基坑支护和模板工程达标率 ( $C_{51}$ ) | 0.83         |
|                                                  |                        |      | 脚手架达标率 ( $C_{52}$ )       | 0.83         |
|                                                  |                        |      | “三宝、四口”防护达标率 ( $C_{53}$ ) | 0.83         |
|                                                  |                        |      | 施工用电达标率 ( $C_{54}$ )      | 0.73         |
|                                                  |                        |      | 文明施工达标率 ( $C_{55}$ )      | 0.63         |
|                                                  |                        |      | 作业环境达标率 ( $C_{56}$ )      | 0.73         |

标比极端重要)。

故权重系数 $w_k$ 的计算公式为:

$$w_k = \left( 1 + \sum_{k=2}^m \prod_{i=k}^m r_i \right)^{-1}$$

$$w_{k-1} = r_k w_k \quad (k=m, m-1, \dots, 2)$$

通过序关系法计算五大类因素的权重为:  $w_k = (0.26, 0.18, 0.20, 0.20, 0.16)$ 。

以每一大类为一个单元,对具体特征的指标的重要程度进行评价,采用唯一参照物比较判断法,从该类特征指标中挑选最不重要的一个且只有一个指标记为 $x_{jm}$ ,其中 $j$ 为类别, $m$ 为第 $j$ 大类因素中的第 $m$ 个元素。令 $x_{jm}=1$ ,  $x_{jk}>1$  ( $j=1, 2, \dots, 5$   $k \neq m$ ),通过对大量工程实践数据的统计和分析,可以得出各个指标的重要程度 $\zeta$ ,如表1所示:

对于各个指标的权重,可依据下式得到:

$$\eta_{ij} = \zeta_{ij} / \sum_{j=1}^k \zeta_{ij} \quad (i=1, 2, \dots, 5; j=1, 2, \dots, k)$$

$$w_{ij} = w_i \times \eta_{ij} \quad (i=1, 2, \dots, 5; j=1, 2, \dots, k)$$

其中 $i$ 为第 $i$ 类元素且1、2、3、4、5分别对应 $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$ 、 $C_4$ 、 $C_5$ ,  $j$ 为第 $i$ 类元素中的第 $j$ 个指标。

## 5 安全状态指标体系的构建

为解决指标的选取问题,把安全状态与分项工程结合起来。每一个分项工程都对安全状态有影响,而不同分项工程的影响因素是不同的,但是同一分项工程的安全状态受相同指标的影响。因此,以分项工程为研究单元,分析其影响安全风险的因素,确定每一个分项工程的安全风险主要的影响因素,进而得出其相应的具体指标,并利用这些指标对当前状态进行识别,分析建筑工程项目施工阶段的安全风险。以房屋建筑为例,一般的房建施工分项工程主要包括基础工程、模板工程、钢筋工程、混凝土工程等,当工程项目正在进行基础工程,则识别安全风险就需要找出影响基础工程安全风险对应的相关指标,运用这些指标,对当前所处的状态进行分析,计算得出目前所处的状态。若下一个状态是进行模板工程,则采用影响模板工程安全风险的指标进行识别,若下一个状态仍然是基础工程,则仍然采用影响基础工程安全风险的指标进行识别,即采用影响下一状态对应分项工程的指标识别下一状态。

结合上一章中的指标体系和权重,并参阅相关文献,故可以得出安全风险的状态,在这里为了简化计算,可令安全状态函数为:

$$S_0 = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^k (w_{ij} \times x_{ij}) \quad (i=1, 2, \dots, 5, j=1, 2, \dots, k)$$

此方法只是一种安全状态函数的表示形式,除此之外,还有其他的安全状态函数,不一一列举。

## 6 结 语

通过运用动态识别方法,可以科学、准确地实现对建筑施工中安全风险的识别,而动态识别主要建立在定量的分析基础之上,因此,构建完备的指标体系对动态识别建筑施工中安全风险的实现至关重要。首先,指标体系的构建使动态识别实现了定量的安全风险状态分析,保证了识别安全风险的科学性和准确性;其次,定量分析更多的是从数值上对工程事故做分析,减少了主观经验的干扰,使安全风险的识别过程更具有科学性、准确性,为减少或避免工程事故的发生提供了强有力的保障。动态识别安全风险的指标体系构建为进一步定量研究建筑工程施工阶段安全风险奠定了基础。▲

## 参考文献

- [1] 李二兵,王源,谭跃虎,等.中国土木工程建设安全现状与风险监控对策[J].土木工程与管理学报,2014(3):78-85.
- [2] 史辉情.建筑工程项目风险管理研究[J].工程经济,2015(10):62-66.
- [3] 王蕊.项目建设阶段风险转移调整研究——基于不完全契约的视角[J].建筑经济,2015(8):41-44.
- [4] 姜胜,陈启卷,等.一种基于矛盾思想方法的性能指标函数[J].武汉大学学报(工学版),2010(2):189-202.
- [5] 侯学良.基于循证科学的建设工程项目实施状态诊断理论与应用[M].北京:电子工业出版社,2011.
- [6] Seo, J.W., Hyun Ho. Risk-based safety impact assessment methodology for underground Construction projects in Korea[J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2008(1):72-81.
- [7] 李越,侯学良.特高压输变电工程安全风险预警研究[J].建筑经济,2015(2):41-45.
- [8] 王超.马尔科夫链在桥梁状态预测中的研究与应用[D].北京:北京交通大学,2009.
- [9] Sijie Zhang, Jochen Teizer. Building Information Modeling (BIM) and safety: Automatic safety checking of construction models and schedules[J]. Automation in Construction, 2013(29):183-195.