

灰色关联故障树分析在高大模板支撑系统中的应用

廖奇云,王 明

(重庆大学 建设管理与房地产学院,重庆 400044)

摘要:高大模板支撑系统的安全性对工程建设至关重要,也对人民群众的生命和财产安全影响深远。为使高大模板支撑系统安全性得到有效控制,预防高大模板坍塌事故的发生,文章采用灰色关联故障树分析方法,对高大模板支撑系统施工中可能出现的各种坍塌模式进行识别并分析其原因;应用灰色关联理论,查找高大模板支撑系统安全性的薄弱环节,对导致高大模板坍塌事故的各种因素及逻辑关系做了全面阐述,并为预防高大模板坍塌事故提供了重要的理论依据。

关键词:高大模板;故障树;最小割集;灰色关联度

中图分类号:TU741 **文献标志码:**A **文章编号:**1005-2909(2012)05-0149-06

根据建质[2009]87号《危险性较大的分部分项工程安全管理办法》,高大模板支撑系统是指建设工程施工现场混凝土构件模板支撑高度超过8 m,或搭设跨度超过18 m,或施工总荷载大于 15 kN/m^2 ,或集中线荷载大于 20 kN/m 的模板支撑系统。随着建筑业迅猛发展,在城市建设中涌现出众多的高大模板,如大量的汽车站、展览馆、轻轨站台、轻轨的轨道梁、转换层大梁、大跨度结构等公共建筑业需要搭设高大模板。高大模板支撑架的安全性对工程建设至关重要,也对人民群众的生命和财产安全影响深远。

当前高大模板支撑系统的安全问题已经越来越受重视。近年来,高大模板支撑系统坍塌引发重大伤亡事故的案例并不少见,而且产生了恶劣的社会影响。究其原因主要有:施工现场管理不到位、模板支架搭设不规范、模板支撑系统计算错误或考虑不周、支架主要受力材料质量差而无法承受受力要求、安全技术规范不完善等。目前对高大模板支撑架坍塌原因的系统研究还不多。为了避免高大模板支撑系统坍塌事故的发生,应对高大模板施工安全因素进行系统识别,找出关键因素并加以控制,从而防止坍塌事故的发生。文章将利用灰色关联故障树分析方法,对高大模板支撑系统各安全因素进行分析与评价,找出影响高大模板支撑系统安全性的关键因素,并据此提出各种预防措施来提高高大模板支撑系统的安全性。

收稿日期:2012-05-12

作者简介:廖奇云(1966-),男,重庆大学建设管理与房地产学院副教授,硕士生导师,主要从事建设工程技术及项目管理研究,(E-mail) liaoqiyun-163@163.com。

一、灰色关联故障模式分析基本原理

(一) 灰色关联度

关联度是表征2个灰色系统之间相似性的一种指标^[1-2]。

设 $X_0 = \{x_0(j)\}$ 为待检序列, $X_i = \{x_i(j)\}$ 为标准故障序列, 其中 $j=1, 2, \dots, n; i=1, 2, \dots, m$ 。

又设 $\Delta_{ij}(K) = |x_i(K) - X_j(K)|$, 最大取为 Δ_{\max} , 最小取为 Δ_{\min} , 其间的关联度定义为:

$$\delta_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{K=1}^N \xi_{ij}(K) \quad (1)$$

其中关联系数 $\xi_{ij}(K)$ 为:

$$\xi_{ij}(K) = \xi_{ij}(K) = \frac{\Delta_{\max} + \rho \Delta_{\min}}{\Delta_{ij}(K) + \rho \Delta_{\max}} \quad (2)$$

式中: N 为序列的长度^[3], 即数据个数; ρ 为分辨系数, 通常取 $\rho = 0.50$ 。

(二) 灰色关联故障模式分析基本原理

在故障树分析中, 导致故障树顶事件发生的底事件可能有 m 种不同的组合, 每一种不同底事件的组合, 称之为一个割集。而最小割集是导致故障树顶事件发生的数量不可再少的底事件的组合, 表示当它所包含的底事件全部发生时, 顶事件才发生的底事件集合^[4]。假设第 i 个最小割集 K_i , 由 n_i 个底事件 X_1, X_2, \dots, X_{n_i} 组合而成, 在最小割集 K_i 中, 可令 n_i 个底事件全为“1”, 其余的 $(n - n_i)$ 个底事件为“0”, 这样由 m 个最小割集就构成了一个典型故障的特征矩阵^[3]:

$$X_K = \begin{bmatrix} X_{k1} \\ X_{k2} \\ \vdots \\ X_{km} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{K1(1)} & X_{K1(2)} & \dots & X_{K1(n)} \\ X_{K2(1)} & X_{K2(2)} & \dots & X_{K2(n)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{Km(1)} & X_{Km(2)} & \dots & X_{Km(n)} \end{bmatrix} \quad (3)$$

二、灰色关联故障树分析在某高大模板中应用

(一) 工程概况

某工程建筑面积 52 550 m², 建筑基底面积 5 278.01 m²。地上 26 层, 地下 4 层, 为多层公共建筑。由地下车库, 设备用房, 展览馆及办公用房等功能用房组成。建筑高度为 99.80 m。本工程为钢筋混凝土框支结构, 建筑结构安全等级为二级, 建筑抗震设防类别为丙类, 设防烈度为 6 度。结构设计使用年限为 50 年。

本工程 3F 设计有转换层, 其较大截面尺寸包括 2000 mm × 2400 mm、1100 mm × 2200 mm、1800 mm × 2000 mm、1000 mm × 1800 mm, 板厚 180 mm; 层高为 6 m, 跨度为 6~9 m。

显然, 转换层的脚手架和模板属于超过一定规模的具有一定危险性的分部分项工程, 存在较多的安全隐患, 为做到事前控制, 必须对危险因素予以甄别。

(二) 故障树建立

把不希望发生但拟研究的事件作为顶上事件, 先找出造成顶上事件发生的所有直接原因事件, 列为第二层; 再找出引起第二层各事件发生的所有直接原因列为第三层, 如此层层向下, 直至最基本的原因底事件为止。从高大模板支撑系统坍塌事故机理来看, 技术原因和人为原因是高大模板支撑系统坍塌的主要因素。而技术原因和人为原因又是由多个因素综合影响制约的结果。通过分析引起该高大模板支撑系统坍塌事故的各种原因建立故障树^[5], 如图 1 所示。请 10 位工程经验丰富的专家到现场实地察看, 对图 1 高大模板坍塌故障树中底事件发生的概率分别进行了打分, 然后取平均数, 综合结果各底事件的失效概率见表 1 所示。文章采用的概率值与事件发生的可能性间的对应关系是: 0.05 为可能性很小, 0.2 为可能性较小, 0.4 为可能但不经常, 0.6 为可能且经常, 0.8 为很可能, 0.95 为完全可能^[3]。

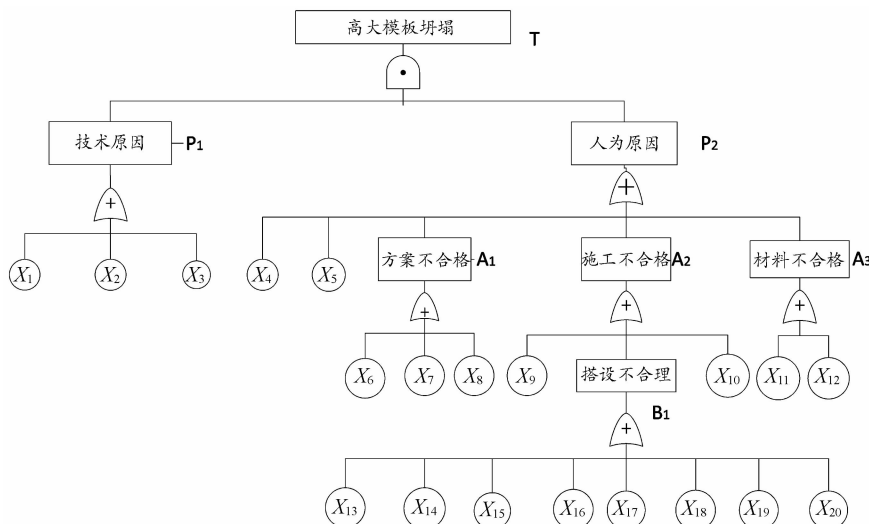


图 1 高大模板支撑系统故障树图

表1 各底事件的发生概率值

代号	基本底事件	概率
X_1	支架不具有确保正常施工安全要求的承载能力	0.10
X_2	实际的荷载作用超过了支架的设计承载能力	0.10
X_3	支架不具有抵抗局部垮塌作用的整体刚度	0.20
X_4	遭受强力自然力(风、雨、雪、地震等)或车祸之后未做检查调整加固	0.05
X_5	违法违规行为	0.10
X_6	方案措施编制粗糙、内容欠缺,不具有操作性	0.20
X_7	方案措施严重脱离工程和施工实际情况,失去对施工的控制作用	0.10
X_8	在支架设计计算中存在影响安全的重要疏漏和错误	0.20
X_9	不当的决策和安排	0.40
X_{10}	习惯性安全隐患	0.50
X_{11}	使用缺斤短两、劣质、变形、有损伤杆件和连接件	0.40
X_{12}	混用互不配合不同种的架体材料	0.20
X_{13}	水平拉杆不合要求	0.20
X_{14}	立杆间距过大	0.30
X_{15}	立杆伸出长度过大	0.20
X_{16}	支架节点、杆件连接不合理	0.30
X_{17}	剪刀撑布置不合格	0.30
X_{18}	未设扫地杆或设置不合格	0.20
X_{19}	支架立杆底部未设置支垫或支垫不合格	0.30
X_{20}	随意加大构架参数、横杆不合理搭设或漏设	0.50

(三) 构建典型故障的特征矩阵

先求出能代表每种故障模式的最小割集,为求故障树的最小割集数,需要求出故障树的结构函数。对于故障树,顶上事件的状态完全取决于基本原因底事件的状态 x_i ,则顶上事件的状态便是这些基本原因底事件 x_i 的函数,称故障树结构函数^[4],记作 $\varphi = \varphi(x)$ 。

对于由与门连接的故障树,其结构函数为:

$$\varphi(x) = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdots x_n \quad (4)$$

对于由或门连接的故障树,其结构函数为:

$$\varphi(x) = x_1 + x_2 + x_3 + \cdots + x_n \quad (5)$$

文章采用布尔代数法,自上级门向下分解,确定系统的最小割集^[5]。对于上述高大模板工程失效的系统安全故障树结构函数数学表达式为:

$$\begin{aligned} \varphi(x) &= P_1 P_2 = (X_1 + X_2 + X_3)(X_4 + X_5 + A_1 + A_2 + A_3) = \\ &= (X_1 + X_2 + X_3)(X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} + \\ &X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} + X_{16} + X_{17} + X_{18} + X_{19} + X_{20}) = \\ &X_1 X_4 + X_1 X_5 + X_1 X_6 + X_1 X_7 + X_1 X_8 + \cdots + X_2 X_{10} + X_2 X_{11} \\ &+ X_2 X_{12} + X_2 X_{13} + X_2 X_{14} + \cdots + X_3 X_{16} + X_3 X_{17} + X_3 X_{18} + \\ &X_3 X_{19} + X_3 X_{20} \end{aligned}$$

得到最小割集: $\{X_1 X_4\}, \{X_1 X_5\}, \{X_1 X_6\}, \{X_1 X_7\}, \{X_1 X_8\}, \dots, \{X_2 X_{10}\}, \{X_2 X_{11}\}, \{X_2 X_{12}\}, \{X_2 X_{13}\}, \{X_2 X_{14}\}, \dots, \{X_3 X_{16}\}, \{X_3 X_{17}\}, \{X_3 X_{18}\}, \{X_3 X_{19}\}, \{X_3 X_{20}\}$ 。共有 51 个最小割集,亦即 $m = 51$ 。

底事件为 20 个,即 $n = 20$,最小割集中所包含的底事件在特征矩阵中取为“1”,其余的为“0”,特征矩阵 X_k 为下式:

$$X_K = \begin{pmatrix} X_{K1} \\ X_{K2} \\ X_{K3} \\ X_{K4} \\ X_{K5} \\ \vdots \\ X_{K24} \\ X_{K25} \\ X_{K26} \\ X_{K27} \\ X_{K28} \\ \vdots \\ X_{K47} \\ X_{K48} \\ X_{K49} \\ X_{K50} \\ X_{K51} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

(四) 确定待检模式向量

根据表 1 中各底事件的失效概率,按下式可以得出各最小割集的发生概率 F_i 和系统顶事件发生概率 F_T 如表 2 所示^[3]。

$$F^{OR} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - F_i) \tag{6}$$

$$F^{AND} = \prod_{i=1}^n F_i \tag{7}$$

为了求得导致故障树顶事件发生的各种故障模式发生的可能性,需要计算各底事件的重要度。底事件重要度定义为,由于该底事件发生影响顶事件发生概率的系数。其数学表达式为:

$$I_j = \frac{Y_j}{F_T} \tag{8}$$

式中: F_T 为顶事件发生概率; Y_j 为第 i 个底事件发生的概率。

根据上式可以计算出高大模板支持系统故障树各底事件的重要度 I_j ,如表 3 所示,这样, n 个底事件

按其重要度就组成了一组待检模式向量 $\{X_T\}$:

$$X_T = \{X_T(1), X_T(2), \dots, X_T(n)\}$$

因此由表 3 的底事件重要度得出待检模式向量为:

$$X_T = [0.119, 0.119, 0.238, 0.06, 0.119, 0.238, 0.119, 0.238, 0.477, 0.596, 0.477, 0.238, 0.238, 0.358, 0.238, 0.238, 0.358, 0.238, 0.358, 0.596]$$

(五) 计算关联度

将待检模式向量为 $\{X_T(j)\} (j = 1, 2, \dots, n)$ 与典型模式向量 $\{X_{Ki}\} (i = 1, 2, \dots, m)$ 之间进行关联度计算,可得到关联度序列 X_T ,为母因素,以 $X_{Ki} (i = 1, 2, \dots, m)$ 为子因素,计算它们之间的关联度。

1. 对 X_T 做归一化处理

$$X_T = [1, 1, 2, 0.5, 1, 2, 1, 2, 4, 5, 4, 2, 2, 3, 2, 2, 3, 2, 3, 5]$$

表 2 最小割集的发生概率

F_T	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	...	F_{24}	F_{25}	F_{26}	F_{27}	F_{28}	...	F_{47}	F_{48}	F_{49}	F_{50}	F_{51}
0.8388	0.005	0.010	0.020	0.010	0.020	...	0.050	0.040	0.020	0.020	0.030	...	0.060	0.060	0.040	0.060	0.100

表 3 各底事件的重要度(I_j)

I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7	I_8	I_9	I_{10}	I_{11}	I_{12}	I_{13}	I_{14}	I_{15}	I_{16}	I_{17}	I_{18}	I_{19}	I_{20}
0.119	0.119	0.238	0.060	0.119	0.238	0.119	0.238	0.477	0.596	0.477	0.238	0.238	0.358	0.238	0.358	0.358	0.238	0.358	0.596

2. 求序列差

- $\Delta_{ij}(1) = [0, 1, 2, 0.5, 1, 2, 1, 2, 4, 5, 4, 2, 2, 3, 2, 2, 3, 2, 3, 5]$
- $\Delta_{ij}(2) = [0, 1, 2, 0.5, 0, 2, 1, 2, 4, 5, 4, 2, 2, 3, 2, 2, 3, 2, 3, 5]$
- $\Delta_{ij}(3) = [0, 1, 2, 0.5, 1, 1, 1, 2, 4, 5, 4, 2, 2, 3, 2, 2, 3, 2, 3, 5]$
- $\Delta_{ij}(4) = [0, 1, 2, 0.5, 1, 2, 0, 2, 4, 5, 4, 2, 2, 3, 2, 2, 3, 2, 3, 5]$
- $\Delta_{ij}(5) = [0, 1, 2, 0.5, 1, 2, 1, 1, 4, 5, 4, 2, 2, 3, 2, 2, 3, 2, 3, 5]$
-
- $\Delta_{ij}(24) = [1, 0, 2, 0.5, 1, 2, 1, 2, 4, 4, 4, 2, 2, 3, 2, 2, 3, 2, 3, 5]$
- $\Delta_{ij}(25) = [1, 0, 2, 0.5, 1, 2, 1, 2, 4, 5, 3, 2, 2, 3, 2, 2, 3, 2, 3, 5]$
- $\Delta_{ij}(26) = [1, 0, 2, 0.5, 1, 2, 1, 2, 4, 5, 4, 1, 2, 3, 2, 2, 3, 2, 3, 5]$
- $\Delta_{ij}(27) = [1, 0, 2, 0.5, 1, 2, 1, 2, 4, 5, 4, 2, 1, 3, 2, 2, 3, 2, 3, 5]$
- $\Delta_{ij}(28) = [1, 0, 2, 0.5, 1, 2, 1, 2, 4, 5, 4, 2, 2, 2, 2, 2, 3, 2, 3, 5]$
-
- $\Delta_{ij}(47) = [1, 1, 1, 0.5, 1, 2, 1, 2, 4, 5, 4, 2, 2, 3, 2, 1, 3, 2, 3, 5]$
- $\Delta_{ij}(48) = [1, 1, 1, 0.5, 1, 2, 1, 2, 4, 5, 4, 2, 2, 3, 2, 2, 2, 2, 3, 5]$
- $\Delta_{ij}(49) = [1, 1, 1, 0.5, 1, 2, 1, 2, 4, 5, 4, 2, 2, 3, 2, 2, 3, 1, 3, 5]$
- $\Delta_{ij}(50) = [1, 1, 1, 0.5, 1, 2, 1, 2, 4, 5, 4, 2, 2, 3, 2, 2, 3, 2, 2, 5]$
- $\Delta_{ij}(51) = [1, 1, 1, 0.5, 1, 2, 1, 2, 4, 5, 4, 2, 2, 3, 2, 2, 3, 2, 3, 4]$

3. 求两级最大差和最小差

根据上述计算结果可得: $\Delta_{\max} = 5, \Delta_{\min} = 0$ 。

4. 计算关联系数

取 $\rho = 0.5$, 由式 $\xi_{ij}(K) = \frac{\Delta_{\max} + \rho\Delta_{\min}}{\Delta_{ij}(K) + \rho\Delta_{\max}}$ 求得关联系数, 具体结果见表 4 所示。

5. 计算关联度

由式 $\xi_{ij} = \delta_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{K=1}^N \xi_{ij}(K)$ 求得关联度, 结果见表 5 所示。

根据上述计算结果可知, x_{ki} 对 X 的关联度大小排为: $r_2 = r_4 = r_{19} = r_{21} = r_{36} = r_{38} > r_3 = r_5 = r_9 = r_{10} = r_{12} = r_{13} = r_{15} = r_{20} = r_{22} = r_{26} = r_{27} = r_{29} > r_{11} = r_{14} = r_{16} = r_{28} = r_{31} = r_{33} > r_6 = r_8 = r_{23} = r_{25} = r_{30} = r_{32} > r_7 = r_{17} > r_{37} = r_{39} = r_{43} = r_{44} = r_{46} = r_{47} = r_{49} > r_{24} = r_{34} > r_1 = r_{18} > r_{45} = r_{48} = r_{50} > r_{40} = r_{42} > r_{41} = r_{51} > r_{35}$ 。

则造成高大模板支撑系统失效的 51 种故障模式发生的可能性大小依次为: $\{X_1X_5\}, \{X_1X_6\}, \{X_2X_5\}, \{X_2X_7\}, \{X_3X_6\}, \{X_3X_8\}, \dots, \{X_3X_9\}, \{X_3X_{11}\}, \{X_3X_{10}\}, \{X_3X_{20}\}, \{X_3X_4\}$ 。

表 4 关联系数表

i	$K=1$	$K=2$	$K=3$	$K=4$	$K=5$...	$K=16$	$K=17$	$K=18$	$K=19$	$K=20$
1	1	0.714	0.556	0.833	0.714	...	0.556	0.455	0.556	0.455	0.333
2	1	0.714	0.556	0.833	1	...	0.556	0.455	0.556	0.455	0.333
3	1	0.714	0.556	0.833	0.714	...	0.556	0.455	0.556	0.455	0.333
4	1	0.714	0.556	0.833	0.714	...	0.556	0.455	0.556	0.455	0.333
5	1	0.714	0.556	0.833	0.714	...	0.556	0.455	0.556	0.455	0.333
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
24	0.714	1	0.556	0.833	0.714	...	0.556	0.455	0.556	0.455	0.333
25	0.714	1	0.556	0.833	0.714	...	0.556	0.455	0.556	0.455	0.333
26	0.714	1	0.556	0.833	0.714	...	0.556	0.455	0.556	0.455	0.333
27	0.714	1	0.556	0.833	0.714	...	0.556	0.455	0.556	0.455	0.333
28	0.714	1	0.556	0.833	0.714	...	0.556	0.455	0.556	0.455	0.333
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
47	0.714	0.714	0.714	0.833	0.714	...	0.714	0.455	0.556	0.455	0.333
48	0.714	0.714	0.714	0.833	0.714	...	0.556	0.556	0.556	0.455	0.333
49	0.714	0.714	0.714	0.833	0.714	...	0.556	0.455	0.714	0.455	0.333
50	0.714	0.714	0.714	0.833	0.7149	...	0.556	0.455	0.556	0.556	0.333
51	0.714	0.714	0.714	0.833	0.7149	...	0.556	0.455	0.556	0.455	0.333

表 5 关联度表

δ_1	δ_2	δ_3	δ_4	δ_5	...	δ_{24}	δ_{25}	δ_{26}	δ_{27}	δ_{28}	...	δ_{47}	δ_{48}	δ_{49}	δ_{50}	δ_{51}
0.561	0.576	0.569	0.576	0.569	...	0.562	0.565	0.569	0.569	0.566	...	0.563	0.560	0.563	0.560	0.557

三、结果分析

其一,从最小割集来看,每个最小割集都是顶上事件发生的一种渠道。最小割集的数目越多,系统就越危险,也表示了顶上事件发生的原因组合,它为降低系统的危险性提供了控制方向和预防措施^[6]。

其二,底事件重要度分析,是从故障树结构上分析各底事件对顶上事件发生所产生的影响程度。底事件结构重要度越大,它对顶上事件的影响就越大,反之亦然。由文章分析可知高大模板支撑系统坍塌事件的底事件有20种,根据它们各自的重要程度可知它们分别对高大模板支撑系统坍塌的影响程度。

其三,关联度分析,将坍塌模式按关联度大小进行排序,找出造成事故发生的各种坍塌模式发生的可能性大小,从而找出高大模板支撑系统容易出问题的环节,为制定预防高大模板坍塌事故的各种措施、提高高大模板支撑系统的安全性提供了理论依据。

四、结语

安全是项目管理最重要的目标,文章将灰色关联故障树分析法应用于高大模板支撑系统的坍塌模

式分析中,能很好地识别影响高大模板安全的各种因素,并能计算其发生的可能性,解决了高大模板施工过程中多安全隐患与多危险源识别的问题,并对高大模板支撑系统的各种坍塌因素及模式进行定量和定位,为制定相应的预防措施和决策提供可靠的理论依据。

参考文献:

- [1] 刘思峰,党耀国,方志耕,等. 灰色系统理论及其应用[M]. 3版. 北京:科学出版社,2004.
- [2] 邓聚龙. 灰理论基础[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2002.
- [3] 周继忠. 灰色关联故障树分析法在基坑工程放坡开挖中的应用[M]. 土木工程学报,2009.
- [4] 朱大奇,于盛林. 基于故障树最小割集的故障诊断方法研究[J]. 数据采集与处理,2002,17(3):341-344.
- [5] 宋保维. 系统可靠性设计与分析[M]. 西安:西北工业大学出版社,2000.
- [6] 景国勋,贾智伟,段振伟,等. 最小割集在系统安全分析方法中的应用[J]. 中国安全科学学报,2004,14(5):99-102.

Application of gray correlation fault tree analysis for high formwork support system

LIAO Qiyun, WANG Ming

(Faculty of Construction Management and Real Estate, Chongqing University, Chongqing 400030, P. R. China)

Abstract: The safety of the high formwork supporting system not only plays a vital role in the successful engineering construction, but also makes a great difference to people's lives and property. To effectively control the safety of the high formwork supporting system and prevent the collapse accident, we carried out gray correlation fault tree analysis to recognize all kinds of collapse modes, analyzed the main reasons leading to the collapse, and then pointed out the weak links based on the gray correlation analysis theory. The result shows that the gray correlation analysis can make detailed description to factors and a logical relationship that leading to the collapse and provide a theoretical basis for the prevention of the high formwork collapse accident.

Keywords: high formwork; fault tree; minimal cut set; gray correlation theory

(编辑 詹燕平)