

支模架施工安全性的评价研究

金伟良¹, 鲁 征¹, 刘 鑫¹, 袁雪霞¹, 陈天民²

(1. 浙江大学 建筑工程学院, 浙江 杭州 310027; 2. 浙江省建设投资集团有限公司, 浙江 杭州 310012)

摘 要: 扣件式钢管支模架是建筑施工最常用的支模架形式,也是建筑施工事故发生最多的结构型式之一.为了研究如何评价建筑施工现场钢管支模架的安全性,在征求若干安全工程专家和支模架设计与施工技术人员的意见后,采用层次分析法设计了一套钢管支模架的现场施工安全评价系统.通过对某地 10 个建筑工程的现场考察,以调查问卷的形式向有关技术人员和施工人员收集意见;通过分析确定系统各个评价要素的权重,结合模糊综合评价方法,建立钢管支模架建筑施工安全性评价方法及其评价标准,由此获得钢管支模架建筑施工安全性的评价结果.经结合工程实例验证了该模型的使用方法.

关键词: 支模架;安全性评价;评价要素;层套 AHP;模糊综合评价

中图分类号: TU755.21; TU731.2

文献标识码: A

文章编号: 1008-973X(2006)05-0800-04

Study on safety assessment of formwork support construction

JIN Wei-liang¹, LIU Xin¹, LU Zheng¹, YUAN Xue-xia¹, CHEN Tian-min²

(1. College of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China;

2. Zhejiang Construction Investment Group, Hangzhou 310012, China)

Abstract: The steel formwork support with couplers is the most commonly used form in construction, and is also one of structural forms in which accidents happen mostly in construction. To study the safety of steel formwork support in project management, a hierarchy system of safety assessment that applied analytic hierarchy process (AHP) was established on basis of survey made by formwork support experts, security experts, technicians and construction personnel. After investigation on technicians and construction personnel in 10 construction sites in terms of questionnaire, the weight of various factors in the system established. Employing fuzzy evaluation, a method and also the standard of safety assessment of formwork support construction was obtained. An illustrative example was made to show the process of this method.

Key words: formwork support; safety assessment; safety factor; multi-hierarchy AHP; fuzzy evaluation

扣件式钢管脚手架是目前建筑施工最常用的脚手架形式,近年来连续发生了多起支模架倒塌的重大事故,这给安全生产管理提出了新的要求.如何保障和提高支模架的安全性,是各个施工企业和管理人员都十分关心的课题^[1-2].为此,本文在征求了若干安全工程专家和支模架设计、施工专家的意见后,建立了一套钢管支模架的安全评价系统,提出了一种适用于评价支模架施工安全性的方法.通过使用该方法,不仅可以客观有效地反映支模架现场施

工的安全情况,还能帮助管理人员诊断出其在安全方面表现欠佳的原因,并采取相应的改进措施.

1 安全评价要素系统的建立

建立评价要素是进行综合评价的基础,评价要素的选取是否适宜,将直接影响综合评价的结论.因此,建立合理的安全评价要素体系是对支模架施工安全性进行全面综合评价的关键.影响支模架施工

安全性的要素很多,建立合适的评价系统,是件相当复杂的工作^[3].影响安全生产的主要要素可以分为两方面:一方面是现场施工情况,脚手架从设计到拆除有一条流程,其中每个环节都会直接影响支模架使用的安全;另一方面是安全管理,它贯穿于整个施工过程中,对支模架施工的安全性也有影响.

建筑行业是劳动密集型的行业,施工人员的文化水平一般比较低.通过安全防护和安全教育,提高工人的安全意识,加强支模架施工的安全性,可减少事故发生率.

支模架的安全事故类型主要为脚手架倒塌,而支模架施工过程中每个环节都会影响其安全性^[4-6].设计方案的优劣、材料情况和搭设情况、检查验收情况、加载和拆除情况都是重要的影响要素.因此,将施工情况要素又划分为这 6 个方面.安全管理和现场施工紧密联系,相互影响,在支模架施工的整个过程中都需要辅之有效的安全管理;安全管理能提高支模架施工质量和安全性.

根据上面的分析,并征求了若干安全工程专家和支模架设计、施工专家的意见后,建立了安全评价要素体系.具体分类如图 1,其中数据及括号中数据分别为要素的重要分值和相对权重值.

2 要素的权重

在评价系统中,不同的要素具有不同的重要性.为了较准确地反映出要素间的重要性差别,需要确定各要素的权重值.为此通过调查问卷来确定权重值^[7].调查对象为现场管理人员,为了反映被调查者个体的差异性,问卷中还涉及到了被调查者的学历 μ_1 、年龄 μ_2 、从业时间 μ_3 、受安全教育时间 μ_4 等方面(见表 1),这些要素会影响其对问题的判断.其中 μ_i 代表不同学历层次、不同年龄层次、不同从业时间以及不同受安全教育时间下对应的权重值.

表 1 个体差异性的权重

Tab.1 Weight of diversity

μ_1	μ_2 /岁	μ_3 /a	μ_4 /h	μ_i
初中以下	20~29	1~2	<10	0.90
高中中专	30~39	3~4	10~20	0.95
大专	40~49	5~10	21~30	0.98
本科及以上	50~60	>10	>30	1.00

调查问卷中要素的重要程度设定为 10 个等级,从没有影响的等级 1 到最重要的等级 10,具体分类见表 2^[8].在调研的 10 个工程中,总共回收了 84 份问卷.

各要素的重要分值计算公式为

$$S_i = \sum_{i=1,n} \mu_{i1} \mu_{i2} \mu_{i3} \mu_{i4} R_i / n. \quad (1)$$

各要素相对权重值为

$$W_i = S_i / \sum S_i. \quad (2)$$

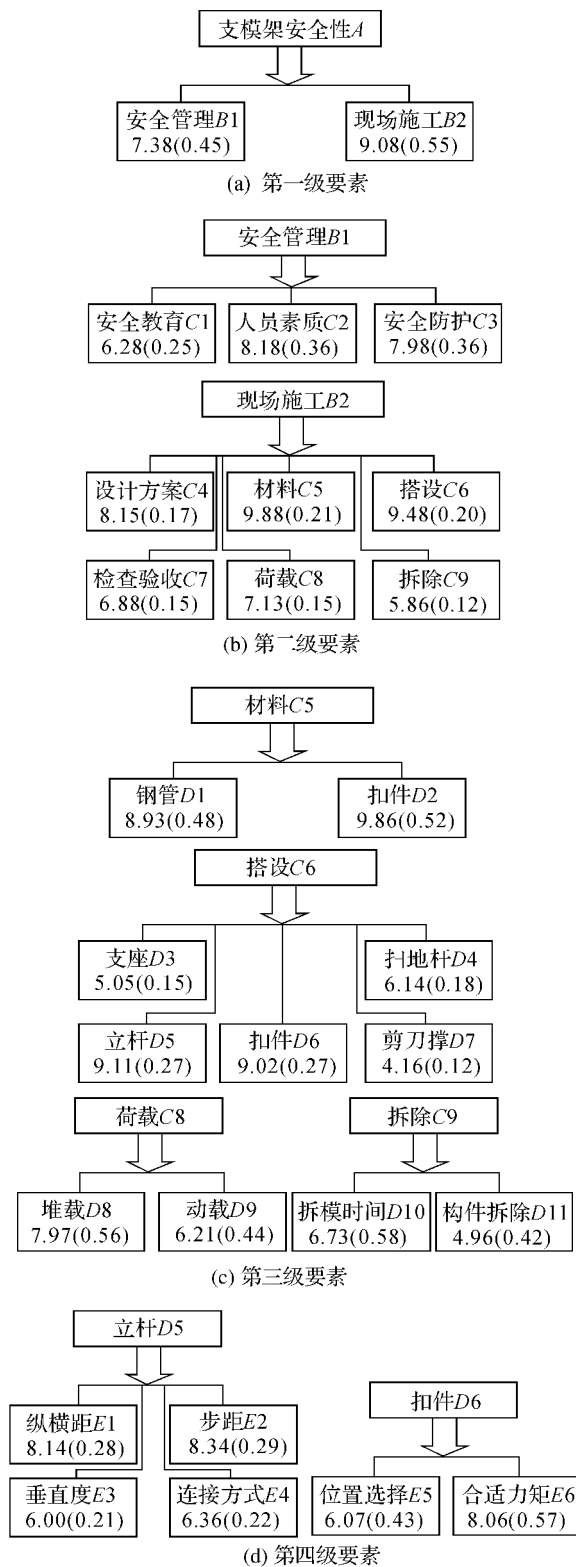


图 1 支模架安全要素图

Fig.1 Safety factors of formwork support

式中： μ_{i1} 、 μ_{i2} 、 μ_{i3} 、 μ_{i4} 分别代表学历、年龄、从业时间、受安全教育时间的权重； R_i 为反馈的单个调查问卷中的要素具体得分，评分标准见表 2； n 为回收的调查问卷份数； S_i 为各级要素的重要分值，在同级要素之间相互比较； W_i 为各级要素的相对权重值，同样是在同级要素之间相互比较。

表 2 评分等级表
Tab. 2 Judgment of various levels

分值	等级	分值	等级
10	最重要	5	一般重要
9	极其重要	4	不太重要
8	很重要	3	有些影响
7	比较重要	2	很小影响
6	有些重要	1	没有影响

经过处理后各要素的重要分值和相对权重值见要素图，即图 1，其中括号中的数据为相对权重值。

3 专家的评分结果

评分时，每一个评价要素具有评分值 $x(x \in [0, 10])$ ，表示各要素实际执行的优劣情况。然后向现场管理人员发放问卷，要求其根据建筑施工现场的实际状况，对各级要素进行评分，从而确定出每一个要素的评分值。

在调研的 10 个工程中，总共回收了 120 份问卷。考虑到管理人员对自己所负责的工程评分有顾虑，为了保证调查的客观性和可信度，调查时特别强调：根据施工经验，对各个问题按十分制评分，即要求被调查者对整个行业中支模架施工安全性进行评价。综合平均每个专家给出的评分值，得到评分值如表 3 所示。

表 3 专家评分值
Tab. 3 Marks of experts

要素	x	要素	x	要素	x
C1	8.50	D3	7.20	E1	8.35
C2	5.10	D4	5.50	E2	8.55
C3	7.55	D7	6.65	E3	7.80
C4	9.35	D8	7.00	E4	8.00
C7	7.35	D9	7.35	E5	7.45
D1	6.65	D10	8.55	E6	7.35
D2	6.15	D11	8.55		

4 安全评价等级的建立

评价等级分为五级^[8]，对应的评价等级集合为： $V = \{V_1, V_2, V_3, V_4, V_5\} = \{\text{很差(VB), 较差(FB), 中等(M), 较好(FG), 很好(VG)}\}$ 。用模糊函数表

示为图 2，对应公式(3)~(7)。然后由专家评分值 x ，根据隶属函数确定每个评价要素分别对于五个评价等级的隶属度，便可以得到各级模糊关系矩阵。

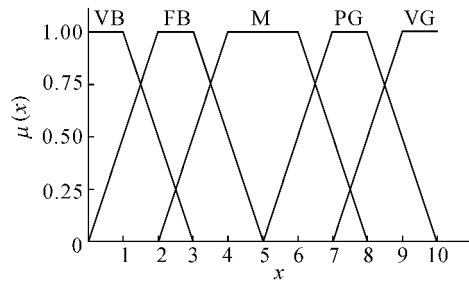


图 2 评价等级的隶属函数

Fig. 2 Membership function of evaluation level

$$u_{V_1} = \begin{cases} 1; & x \leq 1, \\ (3-x)/2; & 1 \leq x \leq 3. \end{cases} \quad (3)$$

$$u_{V_2} = \begin{cases} x/2; & 0 \leq x \leq 2, \\ 1; & 2 \leq x \leq 3, \\ (5-x)/2; & 3 \leq x \leq 5. \end{cases} \quad (4)$$

$$u_{V_3} = \begin{cases} (x-2)/2; & 2 \leq x \leq 4, \\ 1; & 4 \leq x \leq 6, \\ (8-x)/2; & 6 \leq x \leq 8. \end{cases} \quad (5)$$

$$u_{V_4} = \begin{cases} (x-5)/2; & 5 \leq x \leq 7, \\ 1; & 7 \leq x \leq 8, \\ (10-x)/2; & 8 \leq x \leq 10. \end{cases} \quad (6)$$

$$u_{V_5} = \begin{cases} 1; & 9 \leq x \leq 10, \\ (x-7)/2; & 7 \leq x \leq 9. \end{cases} \quad (7)$$

5 安全性评价

下面以实际收集到的资料为例，逐步描述数据在模型系统中流动过程来解释层套 AHP 的计算方法。考虑到专家评分值均大于 5，所以计算时不考虑安全评价等级中前两项的影响，即很差(VB)、较差(FB)两项，评价等级中只保留三项。

5.1 各要素安全性评价矩阵

5.1.1 第四级各要素的安全性评价矩阵 立杆(D5)和扣件(D6)要素的相对权重和模糊关系矩阵见表 4、5。

表 4 D5 的相对权重和模糊关系矩阵

Tab. 4 Relative weight and fuzzy relationship matrix of D5

要素	W_{d1}	R_{d1}
E1	0.28	0.000, 0.825, 0.675
E2	0.29	0.000, 0.725, 0.775
E3	0.21	0.100, 1.000, 0.400
E4	0.21	0.000, 1.000, 0.500

表 5 D6 的相对权重和模糊关系矩阵

Tab. 5 Relative weight and fuzzy relationship matrix of D6

要素	W_{42}	R_{42}
E5	0.43	0.275,1.000,0.225
E6	0.57	0.325,1.000,0.175

立杆(D5)要素的安全性评价矩阵 R_{35} 为

$$R_{35} = W_{41}^T \cdot R_{41} = [0.021, 0.871, 0.608].$$

式中: W_{41} 为 D5 的各要素的相对权重; R_{41} 为 D5 的模糊关系矩阵.

扣件(D6)要素的安全性评价矩阵 R_{36} 为

$$R_{36} = W_{42}^T \cdot R_{42} = [0.304, 1.000, 0.197].$$

式中: W_{42} 为 D6 的各要素的相对权重; R_{42} 为 D6 的模糊关系矩阵.

5.1.2 第三级各要素的安全性评价矩阵 材料(C5)和搭设(C6)要素的相对权重和模糊关系矩阵,见表 6、7.

表 6 C5 的相对权重和模糊关系矩阵

Tab. 6 Relative weight and fuzzy relationship matrix of C5

要素	W_{31}	R_{31}
D1	0.48	0.675,0.825,0.000
D2	0.52	0.925,0.575,0.000

表 7 C6 的相对权重和模糊关系矩阵

Tab. 7 Relative weight and fuzzy relationship matrix of C6

要素	W_{32}	R_{32}
D3	0.15	0.400,1.000,0.100
D4	0.18	1.000,0.250,0.000
D5	0.27	R_{35}
D6	0.27	R_{36}
D7	0.12	0.675,0.825,0.000

材料(C5)要素的安全性评价矩阵 R_{25} 为

$$R_{25} = W_{31}^T \cdot R_{31} = [0.805, 0.695, 0.000].$$

式中: W_{31} 为 C5 的各要素的相对权重; R_{31} 为 C5 的模糊关系矩阵.

搭设(C6)要素的安全性评价矩阵 R_{26} 为

$$R_{26} = W_{32}^T \cdot R_{32} = [0.409, 0.799, 0.232].$$

式中: W_{32} 为 C6 的各要素的相对权重; R_{32} 为 C6 的模糊关系矩阵.

荷载(C8)要素和拆除(C9)要素的计算同上.

5.1.3 第二级各要素的安全性评价矩阵计算 其计算方法与第四级和第三级相同,故详细计算过程略.

5.1.4 第一级要素的安全性评价矩阵 要素的相对权重和模糊关系矩阵见表 8.

表 8 A 的相对权重和模糊关系矩阵

Tab. 8 Relative weight and fuzzy relationship matrix of A

要素	W_1	R_1
B1	0.45	0.441,0.588,0.309
B2	0.55	0.363,0.748,0.347

支模架安全性的评价结果可表示为

$$A = W_1^T \cdot R_1 = [0.398, 0.676, 0.330].$$

式中: W_1 为 A 的各要素的相对权重, R_1 为 A 的模糊关系矩阵.

5.2 确定安全表现分值

假定很差(VB)为 1 分,较差(FB)为 3 分,中等(M)为 5 分,较好(FG)为 7 分,很好(VG)为 9 分,则 $J = [1, 3, 5, 7, 9]^{[7]}$. 对模糊向量 A 进行加权平均,得到

$$S = \sum A_i^2 \cdot J_i / \sum A_i^2 = 6.863. \quad (8)$$

如果 $S \in [0, 2]$,则认为支模架施工安全性很差,需要管理人员给予特别的重视; $S \in (2, 4)$,认为表现较差,很多地方需要改进; $S \in [4, 6]$,则认为表现中等,有表现好的地方,但是也有不少地方需要改进和重视; $S \in (6, 8)$,则认为表现比较好,有少量需要改进的地方; $S \in [8, 10]$,则认为支模架安全性措施做得很好.

6 结 语

文中提出的适用于评价支模架安全性的综合评价方法,可以方便地对支模架的安全性进行全面的定量评价,帮助管理人员及时了解和掌握现场安全情况,准确地找到管理缺陷,从而提高企业对事故发生的控制能力.该方法为以后进一步的研究奠定了基础,其研究结果将对支模架安全评估发挥积极的作用.

参考文献 (References):

[1] 刘家彬,郭正兴.扣件钢管架支模的安全性[J].施工技术,2002,31(3):9-11.
LIU Jia-bin, GUO Zheng-xing. Safety of faster-style steel pipe frame formwork support [J]. Construction Technology, 2002, 31(3): 9-11.

[2] 杜荣军.扣件架的设计安全度和施工安全管理[J].施工技术,2003,32(2):9-12.
DU Rong-jun. Design safety degree and construction safety management of faster-style scaffolding [J]. Construction Technology, 2003, 32(2): 9-12.

间可由数学模型最终给出,在该调度方案下基本能得到期望的内河水位。

4 结 语

本文借鉴已有的数学模型和以神经网络为代表的人工智能研究成果,研究开发了河网水闸智能调度辅助决策模型,该模型由水闸神经网络调度模型和河网水动力学数学模型组成。将该决策模型应用于上海市浦东新区河网,在2003年9月份调水试验资料的基础上,对数学模型进行了成功率定,然后借助数学模型,对水闸智能调度模型进行了训练和测试。应用实例表明,所研发的河网水闸智能调度辅助决策模型可以较好地满足群闸智能调度需求,解决对于浦东新区这样大型复杂河网的水闸智能控制问题。通过本文的研究也进一步反映出:神经网络等智能方法的优势并不在于模拟的精确性,而是体现在它对于通常方法不能解决的复杂问题也能给出让人可以接受的结果。

将河网水闸智能调度辅助决策模型与地理信息系统(geographic information system, GIS)、计算机网络等信息技术相结合,研制了浦东新区水闸智能群控系统,进一步完善了上海市浦东新区的防灾减灾和水资源综合管理调度体系。

需要指出的是:1)本文提出的河网水闸智能调度辅助决策模型对河网非恒定流数学模型依赖性强,因此在率定数学模型水力学参数时对实测资料的可靠性提出较高要求,以保证模拟结果的真实性;2)判断调度模型提供的调度方案是否满足调度要求主要是以数学模型模拟计算得到的内河平均水位是

否与内河期望水位接近作为判断依据。当不能满足时,需要人工干预,修正调度方案。一般来说,随着系统应用次数的增加,用于调度模型训练的预案库的知识逐步求精,这种干预将逐渐减少,并且形成的最终调度方案都是在数学模型上检验通过的,因此,本文提出的河网水闸智能调度辅助决策模型具有相当高的安全可靠性的。

参考文献(References):

- [1] 顾正华. 水流智能模拟理论及其应用研究[D]. 南京: 河海大学, 2004: 149 - 192.
GU Zheng-hua. Study on theory and application of intelligent flow simulation [D]. Nanjing: Hohai University, 2004: 149 - 192.
- [2] 赵林明, 胡浩云, 魏德华, 等. 多层前向人工神经网络[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1999: 23 - 29.
- [3] DIBIKE Y B, SOLOMATLNE D P. River flow forecasting using artificial neural networks [J]. **Physical Chemistry Earth (B)**, 2001, 26: 1 - 7.
- [4] FLORENTINA MOATAR, FRANC O F, ALAIN P. pH modelling by neural networks. Application of control and validation data series in the Middle Loire River [J]. **Ecological Modelling**, 1999, 120: 141 - 156.
- [5] 汪德. 上海市河网水力、水质模型研究[R]. 南京: 河海大学、上海水务局, 2000.
WANG De-guan. Research on Shanghai river networks hydraulic and water quality model [R]. Nanjing: Hohai University, Shanghai Water Affair Bureau, 2000.
- [6] 王晓萍, 黄海, 蒋化冰. BP神经网络Vogl快速算法的改进[J]. 浙江大学学报: 工学版, 2000, 34(2): 143 - 146.
WANG Xiao-ping, HUANG Hai, JIANG Hua-bing. The improving of Vogl quick algorithm for BP neural network [J]. **Journal of Zhejiang University: Engineering Science**, 2000, 34(2): 143 - 146.
- [3] 卢岚, 杨静, 秦嵩. 建筑施工现场安全综合评价研究[J]. 土木工程学报, 2003, 36(9): 46 - 50.
LU Lan, YANG Jing, QIN Song. A study on the safety assessment on building sites [J]. **China Civil Engineering Journal**, 2003, 36(9): 46 - 50.
- [4] 建设部. JGJ59-99 建筑施工安全检查标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999.
Ministry of Construction. JG J59-99 Check standard for safety of building construction [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1999.
- [5] 建设部. JGJ130-2001, 建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999.
Ministry of Construction. (JGJ130-2001) Technical code for safety of steel tubular scaffold with couplers in construction [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2001.
- [6] 杜荣军. 建筑施工脚手架实用手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1994.
- [7] 申立银, 吴德华. 建筑企业环境表现评价系统(C-EPSS)层套AHP计算模型[J]. 高等建筑教育, 2002, 45(4): 65 - 73.
SHEN Li-yin, WU De-hua. Multi-hierarchy AHP calculation model for contractor's environmental performance [J]. **Journal of Architectural Education in Institutions of Higher Learning**, 2002, 45(4): 65 - 73.
- [8] 金朝光, 林焰, 纪卓尚. 基于模糊集理论事件树分析方法在风险分析中的应用[J]. 大连理工大学学报, 2003, 43(1): 97 - 100.
JIN Chao-guang, LIN Yan, JI Zhuo-shang. Application of event tree analysis based on fuzzy sets in risk analysis [J]. **Journal of Dalian University of Technology**, 2003, 43(1): 97 - 100.

(上接第803页)