文章编号:2095-0365(2014)03-0026-05

基于模糊综合评判法的通州彩虹门结构选型优化研究

倪艳霞，　段晓晨

(石家庄铁道大学 经济管理学院,河北　石家庄　050043)

摘　要:在详细分析高层建筑结构选型的影响因素基础上,运用模糊综合评判法,为通州彩虹之门做出科学合理的选型优化决策。在运用模糊综合评判法时,将影响因素划分为二级指标,进一步将定性指标细分以及定量化,大大提高了工程结构优化的准确性和可靠性。

关键词:高层建筑;结构选型;模糊综合评判法

中图分类号:TU97　文献标志码:A　DOI:10.13319/j.cnki.sjztddxxbskb.2014.03.05

一、引言

高层建筑的出现是现代社会城市化、工业化和商业化的结果,是随着社会进步、经济技术的发展而发展的,反映了城市建设的时代特征[1]。

对于高层建筑结构方案的选择,一般采用专家评议的方法,即由当地专家和设计人员根据拟建工程的建筑要求、使用功能、场地条件和建筑高度来确定[2]。但该方法受到人为因素影响比较大,主观随意性大,科学化程度不高。此外,近年来,由于我国对超高层建筑的需求越来越大,对高层建筑结构选型的研究就越来越多。目前,在国内外均出现使用模糊综合评判法来对高层建筑进行结构选型的例子。Harty[3]建议的模糊评定法是根据结构体系与建筑功能和层数的关系来进行结构选型,该法单纯依靠建筑功能和层数,未能考虑其他技术指标,同时对结构的经济性考虑较少,缺乏经济效益评价。Sabouni[4]等人建立的基于模糊量化知识的高层建筑初步设计方法,是基于专家系统之上的一种方法。该法是在有类似工程的基础上进行应用的,因此应用起来比较呆板、单调,未能充分考虑到工程的实际情况。此外,由于国外的钢结构技术比较成熟[5],以及钢结构所具有的一系列其它结构所不具有的优点,使得钢结构受到国外许多国家的青睐。但是我国钢结构的发展起步较晚,技术方面不成熟,另外还需要结合我国的具体国情以及项目的实际情况来对高层建筑进行选型。哈尔滨建筑大学的王光远院士指出结构选型具有强烈的综合性而且具有大量的不确定性因素,因而可以利用模糊综合评判或模糊随机决策的方法来进行决策[6]。中国建筑科学研究院的何广乾提出了一种对高层建筑的结构体系进行综合模糊评定的方法,即根据前人的经验赋予各个结构型式不同的隶属系数,最后根据模糊评定的方法来判定拟选结构体系的类型[7]。哈尔滨建筑大学的陶忠等提出高层建筑结构选型为多目标决策问题。在分析了影响高层建筑结构选型因素的基础上,他们给出了计算这些影响因素的权重分配系数和评价矩阵,并应用模糊数学理论,建立了模糊综合评价的数学模型[8]。刘功良等通过大量的数据的采集及整合,运用了遗传神经网络的方法对模糊因素进行了定量化[9]。虽然国内采

收稿日期:2014-03-17
基金项目:教育部人文社科规划项目(11YJAZH121);石家庄铁道大学预研(Y18)
作者简介:倪艳霞(1989－),女,硕士研究生,研究方向:工程经济与造价管理。

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

用模糊综合评判法对高层建筑进行结构选型的文献较多,但大多数只考虑了一级指标,技术指标以及经济指标不全面,严重影响了结构选型的准确度及适用性。本文采用二级指标进行分析,考虑的因素更全面,逻辑性更强,进一步将定性指标细化和定量化,大大提高了工程结构优化准确性和可靠性。

二、工程项目概况

彩虹之门位于北京市通州新城核心区五河交汇处,地处著名的京杭大运河北起点的三角洲公园上,占地面积 4.68 公顷、建筑总面积约 75 万 m^2、海拔高度 340 m、建筑净高 315 m。如图 1 所示。

该项目采用了巨柱框架—核芯筒的框架结构,核心筒就是在建筑物中央部分,由通风井、楼梯以及公共卫生间等围护形成的中央核心筒,与外围框架形成一个外框内筒结构。此结构较为稳定,抗震性极强[10]。

图 1　彩虹之门

彩虹之门距北京东站 5 km,距北京 CBD18 km,距首都机场 30 km。周边规划有三条地铁线,共 4 个地铁站,皆设有一站式摆渡车,同时规划设置自行车专属车道。彩虹之门采用双拱形造型,坐水而起,将成为新城核心区的标志性建筑。

三、影响高层建筑结构选型的因素

高层建筑的结构选型是一项综合性很强的工作,不仅需要决策者具有很强的力学结构方面的专业知识,而且要求决策者要综合考虑到建筑物的使用功能、环境、经济、安全等各方面的因素。

笔者通过对近年来兴起的高层建筑结构体系进行分析,以及大量文献的阅读,总结出影响高层建筑结构选型的五大因素,即建筑功能性、工程投资、防火性能、抗震性能以及施工工期。功能性是建筑物的最主要特征,是在建筑物的设计中要考虑的最关键的因素,是进行结构选型时首先考虑的关键点。而在通州彩虹门的结构选型中,设计者已经明确表明该建筑为采用巨柱框架—核芯筒的框架结构的多功能建筑,而在该种框架结构中,巨柱与核心筒的结构选型是该建筑成功的关键之处。因此,本文重点以其柱及核心筒的选型为例进行论述。

(一) 工程投资 U_1

投资直接关系到高层建筑的结构选型、材料使用、功能要求,甚至会影响到后期该建筑的经济效益。所以工程投资是高层建筑结构选型需要考虑的重要因素。工程投资具体包括了两方面的因素,一是该结构体系的全寿命周期费用 u_{11},具体包括建设期间的一次性投资费用和后期的一些维护管理费用。二是该结构体系带来的潜在经济效益 u_{12},例如高层建筑若采用钢结构体系,虽然前期的投资比较大,但是由于钢结构施工方便,会缩短工程的工期,从而会使建筑提前投入生产,增加建筑的租金,缩短贷款时间,减少贷款利息。

(二) 防火性能 U_2

随着建筑高度的增加,建筑的安全性能也成为结构选型考虑的重要因素。发生灾害时,火灾是影响人员、财务损失最严重的因素之一。所以在结构选型时,必须要考虑建筑物的防火性能。建筑物的防火性能由两方面来进行衡量,一方面是建筑物本身使用材料的防火性能 u_{21},另一方面是建设中防火涂料的性能 u_{22},如钢结构属于易燃材料,在使用中就必须采用防火涂料进行保护。

(三) 抗震性能 U_3

近年来,我国建筑物必须满足“安全、经济、适用、美观”的原则,可见在建筑物的结构选型中,必须把安全放在首要位置。超高层的建筑抗震设计必须要做到“三水准”要求,即“小震不坏,中震可修,大震不倒”[11]。建筑物抗震性能的优良是保证建筑物安全的首要因素,具体包括延性 u_{31},抗侧刚度 u_{32},以及建筑物的抗倾覆能力 u_{33}。

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

(四)施工工期U_4

施工工期对建筑整体成本的影响主要体现在"时间即是成本"的关系上[12]。建筑物的施工工期是由材料竖向运输便捷程度u_{41}、技术复杂性u_{42}和湿作业量u_{43}等因素决定的。建筑所需材料竖向运输便捷程度会影响到工程进度,例如相对于大型或异型钢板的竖向运输,混凝土和钢筋的竖向运输就便捷多了;若某结构型式发展比较成熟,施工人员技术熟练,则会加快建筑物的施工进程,例如相对于钢结构来说,钢筋混凝土结构在我国发展历史悠久,工作人员对该结构型式的施工技术掌握熟练,施工期间遇到的问题也会比较少,会加快工程的施工进度;此外,建筑型式的湿作业量也会影响到施工工期,例如钢筋混凝土结构中,混凝土的用量较大,则养护期长,必然会延长建筑物施工工期。

四、用模糊综合评判法对通州彩虹之门进行结构选型

通州彩虹之门是一个施工技术复杂的超高层建筑,为了保证该项目的顺利实施,结构选型是其施工前必不可少的重要过程。用模糊综合评价法为通州彩虹之门进行结构选型的过程包括以下方面。

(一)确定评价因素集

如图2所示,结构选型的影响因素课划分为两个层次,第一个层次为$U=\{U_1,U_2,U_3,U_4\}=${工程投资,防火性能,抗震性能,施工工期}。其中$U_1=\{u_{11},u_{12}\}=${全寿命周期成本,潜在的经济效益};$U_2=\{u_{21},u_{22}\}=${防火涂料,材料本身防火性能};$U_3=\{u_{31},u_{32},u_{33}\}=${延性,抗侧刚度,抗倾覆能力};$U_4=\{u_{41},u_{42},u_{43}\}=${材料竖向运输便捷程度,技术复杂性,湿作业量}。

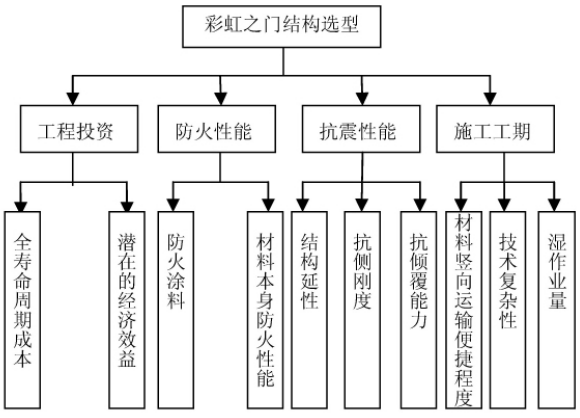

图2 彩虹之门综合评价指标体系

(二)确定方案集

彩虹之门是将内部核心筒与外围的巨型柱连接起来的超高层建筑,所以柱子可以说是该建筑的核心构件,以柱子为例,采用模糊综合评判法进行方案的评选。设柱子的备选方案集为$V=\{v_1,v_2,v_3,v_4\}=${钢结构,钢筋混凝土结构,钢管混凝土结构,型钢混凝土结构}。

(三)进行单因素评价

如表1所示,对于二级指标相对于每一个方案都要做出评价,例如,"全寿命周期成本"这一因素,经专家测评,关于各方案的隶属向量为[0.1,0.4,0.25,0.25],意味着对各方案来说,该项指标的得分为0.1、0.4、0.25、0.25,钢结构建筑投资最高,对开发商来说不利,因此得分最低,相反,钢筋混凝土结构投资最低,因此得分最高。钢结构的抗震性能最好,对开发商及用户来说是最有利,因此在抗震性能这项来说,钢结构得分最高,相反,钢筋混凝土结构抗震性能较差,则得分较低。

(四)建立评价矩阵

根据评价因素集U_1,U_2,U_3,U_4,结合表1中的数据,得到相应的模糊综合评价矩阵为:

$$R_1=\begin{bmatrix}0.1 & 0.4 & 0.25 & 0.25\\ 0.4 & 0.1 & 0.2 & 0.3\end{bmatrix}$$

$$R_2=\begin{bmatrix}0.4 & 0.1 & 0.2 & 0.3\\ 0.1 & 0.4 & 0.2 & 0.3\end{bmatrix}$$

$$R_3=\begin{bmatrix}0.4 & 0.1 & 0.25 & 0.25\\ 0.35 & 0.15 & 0.25 & 0.25\\ 0.3 & 0.1 & 0.25 & 0.35\end{bmatrix}$$

$$R_4=\begin{bmatrix}0.4 & 0.1 & 0.25 & 0.25\\ 0.2 & 0.3 & 0.2 & 0.3\\ 0.4 & 0.1 & 0.25 & 0.25\end{bmatrix}$$

(五)确定权向量

利用层次分析法,由专家算出一级指标和二级指标的权重。与因素集U_1相对应,"全寿命周期成本"、"潜在的经济效益"相对于一级指标"工程投资"的权重分别为0.785 9、0.214 1。其余评价因素的权重依次类推。汇总得:

$W_1=[0.785\ 9,0.214\ 1]$

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1　二级指标相对各方案的评价值

二级指标		评选方案			
		钢结构	钢筋混凝土结构	型钢混凝土结构	钢管混凝土结构
工程投资	全寿命周期成本	0.1	0.4	0.25	0.25
	潜在经济效益	0.4	0.1	0.2	0.3
防火性能	防火涂料	0.4	0.1	0.2	0.3
	材料防火性	0.1	0.4	0.2	0.3
抗震性能	延性	0.4	0.1	0.25	0.25
	抗侧刚度	0.35	0.15	0.25	0.25
	抗倾覆能力	0.3	0.1	0.25	0.35
施工工期	材料竖向运输便捷程度	0.4	0.1	0.25	0.25
	技术复杂性	0.2	0.3	0.2	0.3
	湿作业量	0.4	0.1	0.25	0.25

$W_2=[0.563\ 9,0.436\ 1]$

$W_3=[0.589\ 6,0.197\ 2,0.213\ 2]$

$W_4=[0.562\ 8,0.276\ 4,0.160\ 8]$

$W=[0.415\ 6,0.122\ 6,0.265\ 5,0.196\ 3]$

（六）进行模糊合成

首先，对二级指标进行模糊合成。

$$S_1=w_1*R_1=[0.785\ 9,0.214\ 1]*\begin{bmatrix}0.1 & 0.4 & 0.25 & 0.25\\ 0.4 & 0.1 & 0.2 & 0.3\end{bmatrix}=[0.164\ 23\quad 0.335\ 77\quad 0.239\ 295\quad 0.260\ 705]$$

同理，

$S_2=w_2*R_2=[0.269\ 17\quad 0.230\ 83\quad 0.2\quad 0.3]$

$S_3=w_3*R_3=[0.368\ 82\quad 0.109\ 86\quad 0.25\quad 0.271\ 32]$

$S_4=w_4*R_4=[0.344\ 72\quad 0.155\ 28\quad 0.236\ 18\quad 0.263\ 82]$

然后，对计算得到的 S_1,S_2,S_3,S_4，组合形成一级指标的模糊综合评价矩阵。

$$R=[S_1,S_2,S_3,S_4]=\begin{bmatrix}0.164\ 23 & 0.335\ 77 & 0.239\ 295 & 0.260\ 705\\ 0.269\ 17 & 0.230\ 83 & 0.2 & 0.3\\ 0.368\ 82 & 0.109\ 86 & 0.25 & 0.271\ 32\\ 0.344\ 72 & 0.155\ 28 & 0.236\ 18 & 0.263\ 82\end{bmatrix}$$

最后，由公式(1)得

$$S=W*R=[0.415\ 6,0.122\ 6,0.265\ 5,0.196\ 3]*\begin{bmatrix}0.164\ 23 & 0.335\ 77 & 0.239\ 295 & 0.260\ 705\\ 0.269\ 17 & 0.230\ 83 & 0.2 & 0.3\\ 0.368\ 82 & 0.109\ 86 & 0.25 & 0.271\ 32\\ 0.344\ 72 & 0.155\ 28 & 0.236\ 18 & 0.263\ 82\end{bmatrix}=$$

$$[0.266\ 844\quad 0.227\ 495\quad 0.236\ 708\quad 0.268\ 952]$$

（七）做出决策

根据模糊综合评价结果向量 S，依据最大隶属原则确定钢管混凝土结构为最佳方案，为通州彩虹之门结构选型的决策提供了参考。

五、结论

针对现行高层建筑结构选型方法的随机性、工作量大、人为因素多以及误差大等缺陷，结合通州彩虹之门毗邻水域且为异形建筑的实际情况，对其结构选型进行了优化。该方法具有以下优势和特点：

(1)目前国内采用模糊综合评判法对高层建筑建筑进行选型优化多考虑单因素，即建立模型时采用一级指标，而本文在建立该方法时采用二级指标，考虑的因素更全面，逻辑性更强，进一步将定性指标定量化。

(2)该方法与遗传算法、神经网络等方法对高层建筑进行结构选型相比简便可行，通俗易懂，计算简单。

(3)在对通州彩虹之门进行结构选型时，运用该方法的二级指标，可以很清楚地划分影响结构选型的主要因素和次要因素，从而准确性更强。

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

总之,本论文应用此方法对高层建筑结构选型进行的优化,具有传统选型方法的优点,而且解决了随机性、工作量大、人为因素多以及误差大等非线性问题,为工程结构选型提供了很好的优化方法和依据。

参考文献:

[1]刘中平,韩志军,谢华. 浅述高层建筑防火的几个问题[J]. 石家庄铁道学院学报,1998(S1):18-20.

[2]雷淑忠,沈祖炎,郭兵. 超高层建筑结构选型技术研究[J]. 建筑结构学报,2007(S1):263-268.

[3]Harty. N. Danaher . M A knowledge based approach to preliminary design of building [J]. Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Structures and Building,1994,104:135-144

[4]Sabouni A. R. And Mourad O. M. Quantitative knowledge based approach for preliminary design of tall buildings [J]. Artificial intelligence in Engineering,1997(11):143-154

[5]李良慧. 建筑房屋钢结构与混凝土结构的技术经济比较[D]. 山东:青岛理工大学,2012.

[6]康珍珍. 高层建筑结构体系分析及结构选型模糊决策研究[D]. 辽宁:辽宁工技术大学,2002.

[7]何广乾. 高层建筑的结构体系[C]. 第十二届全国高层建筑结构学术交流会,1994

[8]陶忠,张耀春,韩林海,等. 关于高层结构选型设计的初步探讨[J]. 哈尔滨建筑大学学报,2000(2):21-23.

[9]刘功良. 基于遗传神经网络对高层建筑结构选型的研究[D]. 黑龙江:东北石油大学,2012.

[10]王少旭. 超高层核心筒特点及质量控制方法分析[J]. 河南科技,2013(15):171.

[11]钱峰,王艳锦. 超高层建筑结构体系的选择分析[J]. 黑龙江科技信息,2011,35:301

[12]张新中. 建筑钢结构的应用发展及综合经济效益分析[J]. 华北水利水电学院学报,2002(4):1-5.

The Structure Optimization of Tongzhou Rainbow Gate Based on Fuzzy Synthetic Evaluation

NI Yan-xia[1], DUAN Xiao-chen[2]

(1. Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China;

2. Corresponding Author of Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China)

Abstract: This paper describes the common high-rise building structural system, and analyzes the factors affecting the selection of high-rise building structure. Then the paper uses fuzzy synthetic evaluation method to make scientific and rational selection of Tongzhou Rainbow Gate optimization decisions. With the use of fuzzy synthetic evaluation method, the paper divides the influence factors into secondary indicators, making qualitative indicators more exhaustive and quantitative, greatly improving the accuracy and reliability of engineering structural optimization.

Key words: high-rise buildings; structure selection; fuzzy synthetic evaluation

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net