

·建筑消防·

超高层建筑消防给水系统的优化

刘焱 贺墨梅

(东南大学土木工程学院市政工程系, 南京 210096)

摘要 提出了超高层建筑消防给水系统综合评价的各项指标并进行了论证,根据递阶层次结构原理,建立了超高层建筑消防给水系统综合评价法模型。同时还建立了判断矩阵,由层次分析判断矩阵的一致性定义出发,将 MATLAB 优化工具箱应用于消防给水系统 AHP 模型求解,得出了较为精确的结果,对实际工程有较好的指导作用。

关键词 超高层建筑 消防给水系统 综合评价模型 层次分析法 优化

超高层建筑由于其空间跨度大、功能复杂,一旦发生火灾,扑救困难,损失巨大,后果严重。因此,超高层建筑的消防设计也就十分重要。我国现在还没有针对超高层建筑的消防设计规范,设计人员在设计时往往套用高层建筑的消防设计规范和经验,存在较大弊端。

消防给水方式的选择是超高层建筑消防系统设计中一个非常重要的环节。本文提出了超高层建筑消防给水系统综合评价的各项指标并进行了论证,根据递阶层次结构原理,建立了超高层建筑消防给水系统综合评价法模型。由层次分析判断矩阵的一致性定义出发,将 MATLAB 优化工具箱应用于消防给水系统 AHP 模型求解,得出了较为精确的结果,对实际工程有较好的指导作用。

1 基于层次分析法的超高层建筑消防给水系统优化

层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 是美国运筹学家 Saaty T L 于 20 世纪 70 年代提出的,它是对多个方案多个指标系统进行分析的一种层次化、结构化决策方法,它采用数学方法将哲学上的分解与综合思维过程进行了描述,从而建立决策过程优化的数学模型^[1~6]。具有原理简单、复杂问题结构化和层次化、理论基础扎实、定性与定量相结合等较突出的特点。

1.1 超高层消防给水系统综合评价模型的层次结构划分

该模型为一层次结构,共分为 3 个层次,最上层为目标层,最下层为方案层,中间为准则层和子准

则层。

1.1.1 目标层 A

按照层次分析的评价方法与标准,综合反映各种消防给水方式的优劣,从中优选最适合的消防系统给水方式。

1.1.2 准则层 B

所建立的模型中考虑的准则层有 3 个。B1:经济;B2:安全。指选用不同的给水方式对整个建筑消防安全方面产生的影响;B3:运行管理。指在运行管理方面的难易程度和效果。

1.1.3 子准则层(指标层) C

(1) 经济准则的评价指标。此准则层包括 C1:设备成本;C2:运营动力费;C3:占用的建筑面积;C4:运行维护的管理成本。

(2) 安全准则的评价指标。此准则层包括 C5:系统的超压问题;C6:系统运行的可靠性。

根据我国现有的水泵生产状况,一般的离心式水泵系统最高工作压力为 1.6 MPa。当压力大于此值时,对设备的抗压能力要求将大大提高,受水泵扬程、消防栓出口压力和减压阀关于减压量的影响,一般水泵一级加压可供至约 150 m 的高度。因此,在运行可靠性 C6 的指标判断里,建筑高度以 150 m 为界,高于和低于此范围时,减压阀和并联系统的运行可靠性有极大的区别,故建立判断矩阵时以建筑高度 150 m 为界。低于 150 m 的超高层建筑,其判断矩阵为 C6a,高于 150 m 则为 C6b。

(3) 运行管理准则的评价指标。此准则层包括: C7:管理的难易程度;C8:设备布置的集中程度;

C9:噪声和二次污染的产生。

1. 1. 4 方案层 D

本模型选择 5 种系统给水方式作为目标层。这 5 种方式是目前最基本的系统给水方式。具体选择如下。D1:消防给水泵并联分区给水方式;D2:减压阀减压分区给水方式;D3:消防水泵之间串联分区方式;D4:消防水泵、水箱串联分区方式;D5:重力式消防给水系统。

上述目标层、准则层、子准则层(指标层)和方案层构成的层次结构模型即为本文建立的超高层建筑消防给水系统的综合评价优化模型,如图 1 所示。

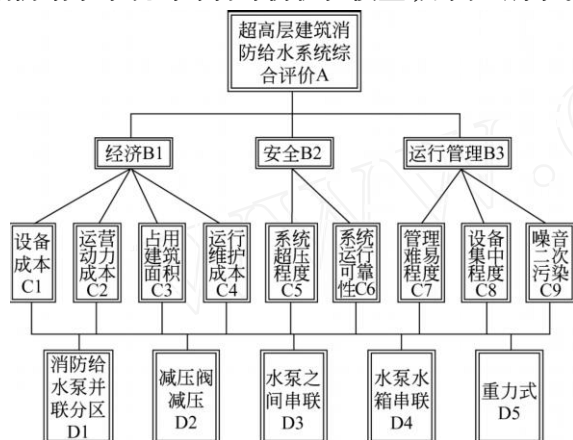


图 1 优化层次模型结构示意图

1. 2 消防给水系统综合评价模型的指标论证

评价指标应遵循完整性、相容性、客观性和简洁性原则。消防给水系统在设计、施工、运行过程中,主要是对整个建筑的经济和安全两方面产生影响,故判断方案的优劣,必然考虑这两方面的因素。同时,即使一个方案既经济又安全,但运行管理和维护难度很大,也会制约该方案在实际中的表现。这样,评价指标体系从经济、安全、管理三方面构成模型的准则层^[7,8]。

1. 2. 1 经济性指标的选取及其评价尺度

(1) 设备成本 C1:由工程造价计算可得出精确的结果。一般系统越简单,设备使用越少,造价就越低。

(2) 运营动力成本 C2:高流量和扬程的水泵动力费用是一笔不小的开支,但由于消防系统运行时间较少,故这部分所占比例不大。

(3) 占用建筑面积 C3:超高层建筑用地成本都很高,占用面积的多少对经济性的影响非常大。占

用面积越少,则越经济。

(4) 运行维护成本 C4:系统越简单,使用管理人员越少,这部分成本就越低。

1. 2. 2 安全性指标的选取及其评价尺度

安全性主要体现在系统的超压问题和系统运行可靠性两方面。

(1) 系统超压程度 C5:超高层建筑中消防供水的超压问题比高层要明显,特别是灭火初期(消防水泵启动后)超压现象十分严重,建立模型时应根据不同系统的特点,研究管网压力的变化,得出相对的比较程度。

(2) 系统运行可靠性 C6:指消防给水系统在规定的条件下和规定的时间内,完成规定功能的概率,是一个相对的概念。这里的判断尺度要结合已有的设计经验,各种设备的运行特性,得出一个综合的结论。

1. 2. 3 运行管理指标的选取及其评价尺度

(1) 系统操作管理难易程度 C7:消防系统虽然真正使用的时间不多,但平时的维护工作也很艰巨。设计中应考虑操作人员使用各种设备的情况。操作管理越简单,综合得分越高。

(2) 设备布置的集中程度 C8:设备布置集中的程度有多高,对整个系统的管理和维护的便利性都有较大的影响,本指标的评价尺度是设备集中的相对程度。

(3) 噪声和二次污染等其他因素 C9:设备运行产生的噪声和给水水质的二次污染等问题给系统建成后后续管理带来了很大的不便,本指标的评价尺度就是这些因素产生的不利影响越小,系统综合得分就越高。

1. 3 系统的综合评价与优化

结合前文所述的评价指标和选定的各层元素,我们可以得到超高层建筑消防给水系统的优化层次模型结构,见图 1。运用 Saaty 所提出的 AHP 理论以及上述的相关评价方法,我们可以对 5 种系统进行综合评价与优化设计,具体计算流程如下。

1. 3. 1 构造九标度比较判断矩阵

对 A、B、C 层次以及方案层 D(给水系统方式)建立判断矩阵,并应用 MATLAB 优化软件进行计

算,计算结果见表 1~表 7(因篇幅有限,本文仅列出部分结果)。

表 1 九标度比较判断矩阵

A	B1	B2	B3	W
B1	1	1	3	0.428 6
B2	1	1	3	0.428 6
B3	1/3	1/3	1	0.142 8

注: $\lambda_{\max}=3$, $CI=0$, $RI=0.514 9$, $CR=0$ 。

表 2 经济性指标 B1 的九标度比较判断矩阵

B1	C1	C2	C3	C4	W
C1	1	3	1/3	5	0.235 6
C2	1/3	1	1/9	2	0.082 8
C3	3	9	1	9	0.629 7
C4	1/5	1/2	1/9	1	0.052 0

注: $\lambda_{\max}=4.048 8$, $CI=0.048 8$, $RI=0.893 1$, $CR=0.018$ 。

表 3 设备成本指标 C1 的九标度比较判断矩阵

C1	D1	D2	D3	D4	D5	W
D1	1	1/3	2	2	1/2	0.150 6
D2	3	1	5	5	1	0.089 8
D3	1/2	1/5	1	1	1/3	0.082 7
D4	1/2	1/5	1	1	1/3	0.082 7
D5	2	1	3	3	1	0.294 1

注: $\lambda_{\max}=5.037$, $CI=0.009 25$, $RI=1.118 5$, $CR=0.008 27$ 。

表 4 占用建筑面积指标 C3 的九标度比较判断矩阵

C3	D1	D2	D3	D4	D5	W
D1	1	1/5	1	5	7	0.174 1
D2	5	1	5	9	9	0.570 3
D3	1	1/5	1	5	7	0.174 1
D4	1/5	1/9	1/5	1	3	0.051 4
D5	1/7	1/9	1/7	1/3	1	0.030 0

注: $\lambda_{\max}=5.338 5$, $CI=0.084 6$, $RI=1.118 5$, $CR=0.076$ 。

表 5 系统超压程度指标 C5 的九标度比较判断矩阵

C5	D1	D2	D3	D4	D5	W
D1	1	2	1/2	1	3	0.156 2
D2	1/2	1	1/5	1/2	2	0.061 0
D3	2	5	1	3	7	0.337 6
D4	1	2	1/2	1	3	0.402 9
D5	1/3	1/2	1/7	1/3	1	0.042 3

注: $\lambda_{\max}=5.108 6$, $CI=0.027 15$, $RI=1.118 5$, $CR=0.024 3$ 。

表 6 系统运行可靠性指标 C6a 的九标度比较判断矩阵
(建筑高度小于 150 m)

C6a	D1	D2	D3	D4	D5	W
D1	1	2	4	3	5	0.427 3
D2	1/2	1	2	2	3	0.236 0
D3	1/4	1/2	1	1/2	2	0.110 0
D4	1/3	1/2	2	1	2	0.153 9
D5	1/5	1/3	1/2	1/2	1	0.072 8

注: $\lambda_{\max}=5.067 1$, $CI=0.016 775$, $RI=1.118 5$, $CR=0.015$ 。

表 7 系统运行可靠性指标 C6b 的九标度比较判断矩阵
(建筑高度大于 150 m)

C6b	D1	D2	D3	D4	D5	W
D1	1	5	1/2	1/3	2	0.160 4
D2	1/5	1	1/7	1/9	1/3	0.037 1
D3	2	7	1	1/2	3	0.266 0
D4	3	9	2	1	5	0.445 4
D5	1/2	3	1/3	1/5	1	0.091 2

注: $\lambda_{\max}=5.047 2$, $CI=0.011 8$, $RI=1.118 5$, $CR=0.01$ 。

1.3.2 层次总排序及一致性检验

按总排序由上到下进行计算。方案的权值计算和排序如表 8、表 9 所示。

表 8 超高层建筑消防给水综合评价总排序
(建筑高度小于 150 m)

层次	B1	B2	B3	层次总排序值	方案排序
	0.428 6	0.428 6	0.142 8		
D1	0.171 6	0.393 4	0.096 3	0.255 9	2
D2	0.418 8	0.214 1	0.067 8	0.280 9	1
D3	0.160 7	0.138 5	0.187 5	0.165 0	3
D4	0.083 4	0.185 0	0.207 4	0.154 7	4
D5	0.094 9	0.069 0	0.441 0	0.143 5	5

表 9 超高层建筑消防给水综合评价总排序
(建筑高度大于 150 m)

层次	B1	B2	B3	层次总排序值	方案排序
	0.428 6	0.428 6	0.142 8		
D1	0.171 6	0.159 9	0.096 3	0.165 8	4
D2	0.418 8	0.040 1	0.067 8	0.196 4	3
D3	0.160 7	0.315 0	0.207 4	0.234 3	1
D4	0.083 4	0.400 1	0.187 5	0.233 4	2
D5	0.094 9	0.085 1	0.441 0	0.160 1	5

经计算,超高层建筑各种消防给水系统综合评价总权值如下:当建筑高度小于 150 m 时, $W = (0.255\ 9, 0.280\ 9, 0.165\ 0, 0.154\ 7, 0.143\ 35)$; 当建筑高度大于 150 m 时, $W = (0.165\ 8, 0.196\ 4, 0.234\ 3, 0.233\ 4, 0.160\ 1)$ 。从中我们可以得出:对于本文所研究的超高层建筑消防给水系统的 5 种给水方式,建筑高度大于 150 m 时,消防水泵串联分区和消防水泵、水箱串联分区方式占有较好的优势。建筑高度低于 150 m 的建筑时,选用减压阀减压给水方式最为合理。

2 系统优化验证与设计应用

以南京市银河国际广场为例。建筑面积 125 277 m²,建筑高度 180.54 m。地下 3 层,地上 47 层,其中地下 1 层~地下 2 层平时为汽车库、自行车库及设备用房,战时为 6B 级人防;地下 3 层平时为汽车库及设备用房,战时为 6 级人防;地上 1~8 层为商场,9~22 层为商务酒店,23~47 层为单身公寓;36.00 m(8A 层)为设备转换层。根据本文前面所述的优化结果,对高于 150 m 的建筑,使用水泵直接串联的消防给水系统较为经济合理。另外,设计参考了上海市地方标准《民用建筑水灭火系统设计规范》,该规范某些内容与国家标准相比更为详尽、具体且更具可操作性。该规范规定“当建筑高度低于或等于 120 m 时,消防给水竖向分区宜采用减压阀、分区水泵、多出口泵并联消防泵分区给水系统;高于 120 m 时,宜采用多台泵直接串联或设中间水箱的串联给水系统”。规范的此部分内容与本文的优化结果相吻合,在一定程度上也验证了本文优化结果的可靠性,同时也说明了该规范内容的合理性。故最后确定采用水泵直接串联的消防给水方式。

3 结语

对于目前常用的 5 种超高层建筑的消防给水方式,从上述 9 个指标综合评价,结果是对于建筑高度小于 150 m 的超高层,以减压阀给水方式最为适用,其次为并联式给水方式;建筑高度大于 150 m 的超高层,则水泵直接串联的消防给水方式最为经济可行,水泵、水箱串联方式略为次之,减压阀式不够安全,应尽量避免使用。

该模型较为充分地考虑了消防给水系统对经

济、安全、运行管理等各个方面的影响和效果,以及所受到的制约,将定性因素和定量因素有机地结合起来,实现综合评价结果的量化。结果表明,这样的综合评价是直观和有说服力的,从而较好地解决了以往主要通过设计经验进行评价存在的问题。

综合评价选优的方法很多,AHP 只是其中一种,还有许多内容值得深入研究。AHP 还可运用于建筑给排水设计的其它系统,如超高层建筑的生活给水系统的优化等。

参考文献

- 1 汪应洛.系统工程理论、方法与应用.北京:高等教育出版社,1999
- 2 徐泽水.层次分析法新标度法.系统工程理论与实践,1998,18(10):74~77
- 3 李杵泳,丁晶,彭荔红.环境质量评价原理与方法.北京:化学工业出版社,2004
- 4 李杵泳.层次分析法及其研究进展.自然杂志,1991,14(12):904~907
- 5 胡永宏,贺思辉.综合评价方法.北京:科学出版社,2000
- 6 郭亚军.综合评价理论与方法.北京:科学出版社,2002
- 7 李明环.改进层次分析法在选择高层建筑给水方式中的应用.水资源与水工程学报,2004,15(1):67~70
- 8 金菊良,魏一鸣,付强,等.层次分析法在水环境系统工程中的应用.水科学进展,2002,13(4):467~472

&E-mail:liuyian@seu.edu.cn

收稿日期:2008-03-24

河南省违反节能标准建房最高罚 50 万

据了解,河南省建筑节能工作起步较早,节能建筑总量已达 7 000 万 m²,约占城乡现有建筑总量的 7%,累计实现节约标准煤 65 万 t。但与全国先进省市相比仍有差距。目前,全省已经启动了现有建筑状况调查、能耗统计等基础工作,并将逐步确定重点改造区域和项目,制定改造规划和实施计划,争取把现有建筑节能改造与旧城改造、建筑修缮和城市及区域性热源改造结合开展。省建设厅有关负责人介绍说,为保证节能降耗目标的完成,省建设厅已与 18 个省辖市建设行政主管部门签订了目标责任书。今后,建设、设计、施工、监理等单位违反建筑节能标准建房的,将依法处 10 万元以上 50 万元以下重罚,情节严重的将被降低资质等级或吊销资质证书。