

基于维修质量的大型公共建筑物维修周期决策研究

武 乾^{1,2}, 吴 清³, 高书华¹, 周 韬¹

(1. 西安建筑科技大学土木工程学院, 陕西 西安 710055; 2. 西部建筑科技国家重点实验室(筹), 陕西 西安 710055;
3. 兰州军区临潼疗养院第二疗养区, 陕西 西安 710600)

摘 要:为了更好的确定建筑物的维修周期, 解决我国公共建筑物维修不足和维修过剩的问题, 在充分考虑大型公共建筑物安全性和可靠性的前提下, 运用多级模糊综合评判方法, 建立了基于维修质量的大型公共建筑物维修质量综合评判模型; 确定出大型公共建筑物的维修质量, 在此基础上对大型公共建筑物维修后可靠性恢复程度进行量化, 从而对经验可靠度进行合理修正; 最后利用大型公共建筑物结构构件和设备管道可用度最大, 总费用最小两种模型计算大型公共建筑物的维修周期, 达到根据维修质量动态安排预防性维修周期的目的。

关键词:公共建筑物; 模糊综合评判; 可靠性; 维修周期

中图分类号: TU746.3

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2011)04-0517-05

随着我国现代化建设的深入, 建筑业的发展已经进入了一个飞速发展的时期, 施工的技术和质量也有了跨越式发展, 大大地加快了我国城镇化的速度。但是, 我国在大型公共建筑物维修管理方面还显得相对滞后, 主要是沿用预防性定期维修制度, 由于计划固定, 不能充分考虑公共建筑物的使用实际、经济效益及整体可靠性, 容易产生维修过剩和维修不足的现象, 引入新的维修策略势在必行。目前研究关于维修周期的论文大多是关于机器维修周期方面的, 而研究建筑物维修周期的却很少。鉴于这种状况, 提出了基于维修质量的大型公共建筑物维修周期决策研究。

1 大型公共建筑物维修质量综合评判指标体系的建立

1.1 大型公共建筑物的特点

大型公共建筑是城市文化、艺术、体育等活动的物质载体, 一般地处城市的重要地段, 既是构成城市的特色标志, 也是城市风貌不可或缺的组成。特别是近几年国家加大了对大型公共建筑物的投资和建设力度, 使得研究大型公共建筑物的相关问题显得更为迫切和重要。但大型公共建筑物具有与民用建筑及一般公共建筑物不同的特点^[1]: 大型公共建筑物在设计阶段造型独特、结构形式复杂、设计要求高、新材料、新设备、新工艺等高度聚集, 使建筑物在建设的过程中风险加大; 大型公共建筑物在使用阶段, 具有功能多、使用周期长、服务对象广、使用人员聚集度高的特点, 一旦发生风险, 不仅对人们的生命财产有极大的危害, 而且对社会的稳定和谐也会产生极坏的影响。故确保大型公共建筑物的安全性和可靠性是党和国家应该高度关注的问题。

1.2 建立大型公共建筑物维修质量评判指标体系

大型公共建筑物维修质量评判的指标体系是评判维修质量的依据和标准, 是建立模糊综合评判数学模型的基础。由于建筑结构的维修周期与设备管道的维修周期有很大的差异, 所以本文将从建筑物结构维修周期决策和设备管道的维修周期决策两个方面考虑。建筑物的维修质量的影响因素与大的机械产品一样, 其总的维修质量由其各分系统的维修质量决定, 按功能主要可分为: 结构系统, 电器设备系统, 给排水系统, 暖通系统, 智能系统等。而每个子系统的维修质量又主要从性能恢复进行考虑, 对每个子系统所属的重要构件和重要指标进行提取, 并对相对复杂且意义重要的第 2 层指标继续分解, 建立了

*收稿日期: 2010-12-31 修改稿日期: 2011-06-25

基金项目: 教育部科学研究规划基金资助项目(10YJAZH090)

作者简介: 武 乾(1965-), 男, 陕西西安人, 博士, 副教授, 主要从事建筑物危机管理研究。

第 3 层维修指标. 按照上述原则, 采用定量指标和定性指标相结合的方法, 考虑到外观维修质量指标, 建立了一种如图 1 所示的公共建筑物维修质量评估指标体系. 该体系共 3 个等级 65 个指标, 这些维修质量评估参数指标基本覆盖了大型公共建筑物维修质量产生影响的主要因素^[2]. 在具体评估时, 还可根据建筑物实际情况进行适当取舍.

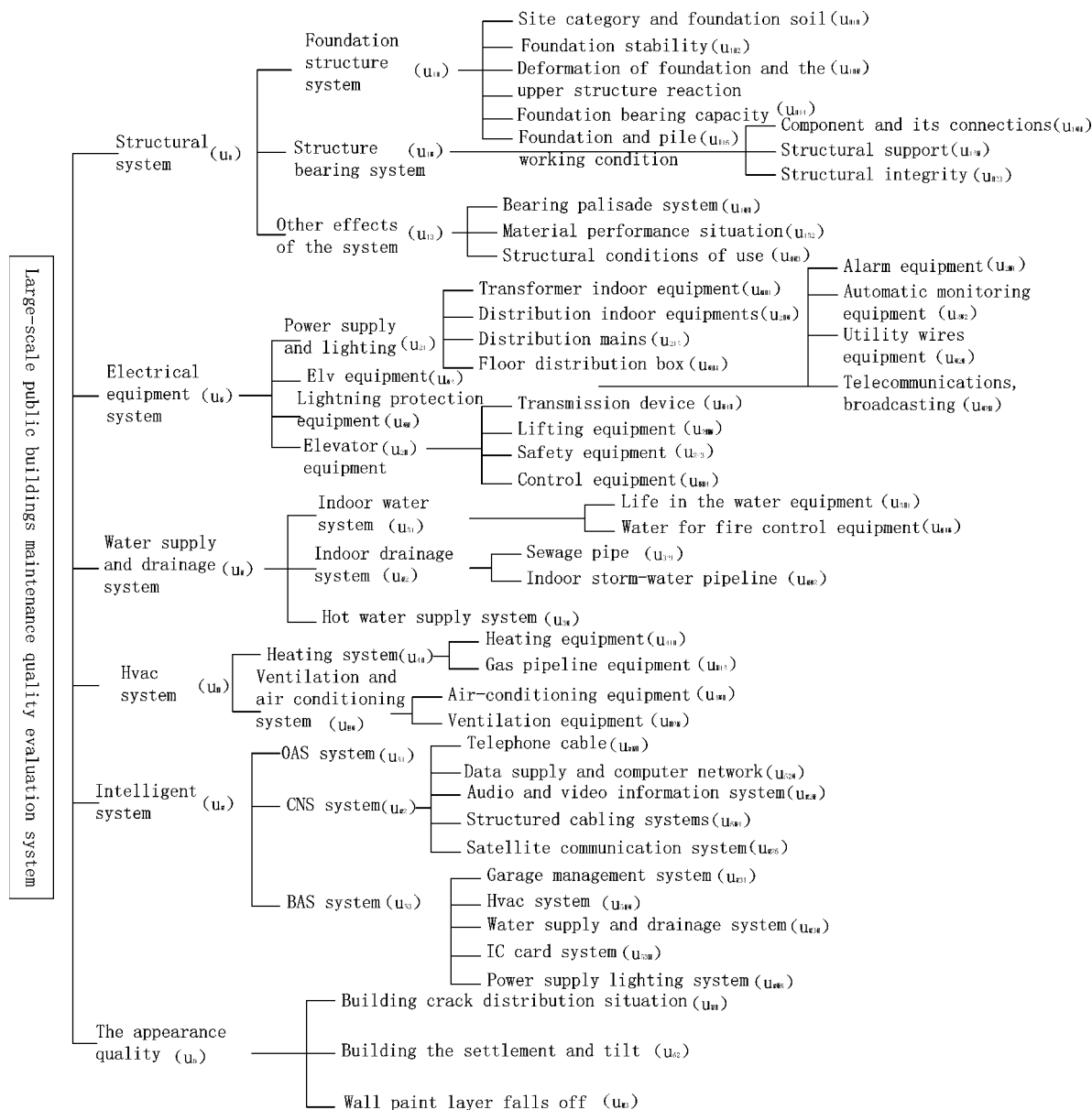


图 1 大型公共建筑物维修质量评估指标体系

Fig. 1 The maintenance quality evaluation index of large public buildings

2 大型公共建筑物维修质量综合评判数学模型

考虑到公共建筑物维修质量评估具有多因素、多层次的特点, 提出以三级模糊综合评判为基础评判模型^[3], 在确定权重集和隶属度时引入 AHP 法和 Delphi 法^[4].

(1) 建立因素集. 根据图 1 评估参数体系的层次结构, 可以看出该体系的第 1 层分为 6 个因素, 即:

$$U = \{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6\} = \{\text{结构系统, 电器设备系统, 给排水系统, 暖通系统, 智能系统, 外观质量}\},$$

其中的每个因素, 又由第 2 层次因素决定, 如 $u_1 = \{u_{11}, u_{12}, u_{13}\}$, 而第 2 层次的因素 u_{ij} 又由第 3 层次因素决定, 如 $u_{11} = \{u_{111}, u_{112}, u_{113}, u_{114}, u_{115}\}$.

(2)建立评估等级集. 设等级集 $V = \{\text{很好, 好, 一般, 差}\}$, 不论因素层次有多少, 评估等级通常一致.

(3)建立各层次权重集. 本模型采用 AHP 与 Delphi 相结合的方法确定评估指标的权重. 其方法是: 运用 AHP 法两两比较各评价指标相对于上一层次指标的相对重要性程度, 然后使用 Delphi 法确定相对重要程度的取值(用 1~9 标度法表示). 对于不同的专家意见, 采用几何平均法进行分类处理, 从而得到各个因素的权重集, 根据上述体系可以得到: 第 1 层次的权重集 $A = (a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6)$, a_i 为第 1 层次中每个因素的权数; 第 2 层次的权重集: $A_i = (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{im})$, a_{ij} ($i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n$) 为第 1 层次因素 u_i 下的第 j 个因素 u_{ij} 的权重数, 如 u_1 的因素集 $\{u_{11}, u_{12}, u_{13}\}$ 所对应的权重集为 $A_1 = \{a_{11}, a_{12}, a_{13}\}$; 第 3 层次的权重 $A_{ij} = (a_{ij1}, a_{ij2}, \dots, a_{ijm})$, a_{ijk} ($i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n; k=1, 2, \dots, l$) 为第 2 层次因素 u_{ij} 下的第 K 个因素 u_{ijk} 的权数.

(4)建立模糊关系矩阵. 根据实际维修质量状况, 寻找因素集合中各个元素对等级集的隶属度, 由此得到单因素 u_{ijk} 的隶属度向量 $R_{ijk} = (r_{ijk1}, r_{ijk2}, \dots, r_{ijkn})$, 进而得到第 3 级模糊评判矩阵.

(5)模糊综合评判. 进行模糊运算得到模糊综合评判集 3 级评判函数为: $B_{ij} = A_{ij} \cdot R_{ij} = (a_{ij1}, a_{ij2}, \dots, a_{ijr})$. 3 级模糊综合评估集所求出的向量 B_{ij} 就是 2 级指标 u_{ij} 的隶属度向量, 如 $B_{11} = A_{11} \cdot R_{11}$ 从而可以得到单项指标 u_{11} 的模糊评判结果, 这些向量又组成 2 级评判矩阵, 依次类推可以得到 1 级模糊综合评判结果为 (b_1, b_2, b_3, b_4) . 对评估结果进行归一化处理, 即得到向量 $B' = (b_{11}, b_{12}, b_{13}, b_{14})$, 归一化后的评估指标具体反映了评估对象在不同等级上的评估结果, 具有较直观的意义.

3 大型公共建筑物维修后预防性维修周期决策

3.1 建立维修后可靠性恢复程度计算模型

大型公共建筑物的各系统在某时刻进行了维修后, 维修活动对系统在该时刻的可靠性有一定的影响. 传统的预防性维修研究都被假定为完全维修, 而实际上预防性维修不可能将系统完全恢复到全新状态, 而修后设备及结构的可靠性恢复程度, 在很大程度上取决于本次维修情况, 因此, 依据大型公共建筑物维修质量量化确定其修后可靠性程度, 这将更符合建筑物维修的实际情况. 在得到建筑物维修质量评估结果 B' 的基础上, 设定评语“很好”对应分值为 90 分以上; “好”对应 80 分以上 90 分以下; “一般”对应 70 分以上 80 分以下; “差”对应 70 分以下. 然后, 依据等比、合比原则, 将归一化后的结果向量 B' 中的最大隶属度值 b'_{max} 按照公式: 对应分数值 $\times (1 - b'_{max}) +$ 上一等级对应分数值 $\times b'_{max}$, 换算成修后可靠度所对应的分值, 计算得到维修后的可靠性恢复程度 β [5].

3.2 预防性维修周期的确定

在预防性维修中, 维修间隔期的确定是一个很重要的内容, 间隔期过长则不足以保证建筑物的安全性和使用性要求, 过短又不经济, 因此恰当的确定预防性维修间隔期将直接影响到建筑物的使用性和经济性. 考虑到建筑物维修对修后可靠性的影响, 对原有经验可靠度数据进行线性修正, 而后按可用度最大和平均总费用最小两种模型进行维修周期计算, 从而得到更合理的修后建筑物预防性维修周期.

3.2.1 按最大可用度和最小平均费用确定预防性维修周期模型

可用度是指系统在任一随机时刻工作时, 处于可工作或可使用状态的概率. 可用度最大原则是指在系统的可用度最大情况下制定预防维修周期. 假定 $R(t)$ 为公共建筑物的系统可靠度, $F(t)$ 为故障分布函数, T_r 为平均预防维修时间, T_f 为平均故障维修时间 ($T_f > T_r$), T 为计划维修时间间隔, 即维修周期. 假定建筑物在规定条件下使用, 考虑预防性维修和排除故障维修的时间. 一个维修周期内各系统的可用时间 T_N 和不能正常工作时间 T_M 分别表达为 [6]:

$$T_N = \int_0^T T dF(t) + \int_T^\infty T dF(t) = \int_0^T R(t) dt; T_M = \int_0^T T_f dF(t) + \int_T^\infty T_r dF(t) = T_f F(t) + T_r + R(T) \quad (1)$$

所以可将可用度表示为:

$$A(T) = \frac{T_N}{T_N + T_M} = \frac{1}{1 + \frac{T_f F(T) + T_r R(T)}{\int_0^T R(t) dt}}$$

对式(1)分析可知,当 $A(T)$ 最大时,式(1)分母的第 2 项最小.为了能够找到使第 2 项最小的最佳 T 值,将其对 T 求导等于 0,就能找到 T 的最佳解,但是对于复杂的各系统,其寿命函数很难找到准确的表达形式,工程中常采用经验可靠度法^[6]进行求解,设维修系数 a 为平均不能工作时间与平均可工作时间之比,即:

$$a = \frac{T_r F(T) + T_f R(T)}{\int_0^T R(t) dt} \quad (2)$$

将统计的经验可靠性数据及 T_r 、 T_f 值代入上式,便可以计算出在 1 个周期内不同阶段的维修系数 a 值,并连成曲线,找出曲线中 a 值的最小点,即可确定可用度最大的最佳预防维修周期.

总费用最小原则是指在总费用最小情况下制定预防维修周期.总费用可分为预防维修费用和事后修理费用.假定故障分布密度为 $f(t)$,平均周期长为 L ,1 个周期内的期望损失为 Q ,用 C_f 和 C_r 分别表示平均故障后维修和预防性维修的费用损失,通常考虑 $C_f > C_r$,通过求: $C = Q/L$ 的极小值寻求确定维修周期 T .

由于, $L = \int_0^T t dF(t) + TR(t) = \int_0^T R(t) dt$; $Q = C_f F(t) + C_r R(t)$ 故:

$$C = \frac{C_r R(t) + C_f [1 - R(t)]}{\int_0^T R(t) dt} \quad (3)$$

由上可以看出,(3) 式和(2) 式有相同的形式,只是维修时间由维修费用代替,因此,平均维修费用最小可以按照可用度最大为目标维修策略的相同算法得到.

3.2.2 维修后的预防性维修周期的计算

因为从建筑物总的维修质量情况出发,考虑到建筑物所包含的各系统有不同的寿命分布情况,既有服从指数分布的电器系统,也有服从正态分布的结构构件,所以很难用具体函数对其进行准确地描述,采用经验可靠度法具有其合理性.假设给定一组经验可靠度数据,按上述方法就可以得到建筑物设备及构件按可用度最大所确定的维修周期.而本研究因为考虑到维修对可靠性的影响,运用多级模糊综合评判得到建筑物维修质量的情况下,按照模型进行计算得到维修后的可靠性恢复程度 β ,然后利用修后可靠性恢复程度 β 作为修正系数,对经验可靠度数据进行线性修正,使 $R'(t) = \beta R(t)$, $R'(t)$ 为维修后的可靠度函数,从而得到修后的可靠度数据和修后模拟可靠性变化曲线.并运用上述方法得到维修系数 a 的表达式为:

$$a = \frac{T_r R(t) + T_f [1 - R(t)]}{\int_0^T R(t) dt} = \frac{C_r \beta R(t) + T_f [1 - \beta R(t)]}{\int_0^T \beta R(t) dt} \quad (4)$$

平均维修费用 C 的表达式为:

$$C = \frac{C_r R(t) + C_f [1 - R(t)]}{\int_0^T R(t) dt} = \frac{C_r \beta R(t) + C_f [1 - \beta R(t)]}{\int_0^T \beta R(t) dt} \quad (5)$$

然后将经验可靠性数据,修正系数 β ,以及 T_r 、 T_f 的值代入式(4),便可以计算出在 1 个周期内不同阶段的维修系数 a 值,同理将 C_f 和 C_r 的值代入式(5)即可求出在 1 个周期内不同阶段的平均维修费用 C 值.

在求解最小 a 值时,考虑到所用经验数据都是阶段性的数据点,这样求出的 a 值通常不是真正的最小值,只能说明最小值在其附近.因此运用最小二乘法的 Matlab 工具对 a 所对应的数据点进行拟合,得到拟合曲线函数式,并对其进行求导,从而得到更准确的 a 的最小值和最佳维修周期,同理可得到 C 的最小值.

4 结束语

对大型公共建筑物维修周期决策研究主要是基于对维修质量的模糊综合评判,采用了定量与定性

相结合的分析方法,克服了量化评估公共建筑物维修质量的难点,为维修管理部门提供了一套科学的维修评判工具.按照可用度最大、总费用最小两种维修决策模型进行计算,比较准确的确定维修周期,避免的维修过剩和维修不足现象的产生.在以后还有待于在实践中不断摸索建筑物设备及其构件的破损规律,为建筑物的加固和设备的维修提供更可靠的依据,更准确更全面地掌握建筑物的维修周期,从而延长我国建筑物的寿命,确保人民生命财产的安全和社会的稳定和谐.

参考文献 References

- [1] 韩 豫,高乔明,雒 燕,等.大型公共建筑物风险特性分析[J].工程管理学报,2010,24(1):37-40.
HAN Yu, GAO Qiao-ming, LUO Yan, et al. Risk characteristics analysis for large-scale public buildings [J]. Journal of Engineering Management, 2010,24(1): 37-40.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部.建筑结构检测技术标准[M].北京:中国建筑工业出版社,2004:7-15.
The People's Republic of China of Housing and Rural Construction. Building structure testing technical standards [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2004:7-15.
- [3] 袁春燕,李慧民,黄 莺.房屋使用阶段安全状态多层次模糊综合评判[J].西安建筑科技大学学报:自然科学版, 2007,39(6):824-828.
YUAN Chun-yan, LI Hui-min, HUANG Ying. State assessment on the existing building [J]. J. Xi'an Univ. of Arch. & Tech: Natural Science Edition, 2007,39(6):824-828.
- [4] 许树柏.实用决策方法——层次分析法原理[M].天津:天津大学出版社,1988:14-25.
XU Shu-bai. Practical decision-making method—analytic hierarchy process principle [M]. Tianjin: Tianjin University of California Press, 1988:14-25.
- [5] 韩占军,赵丽萍.基于维修质量综合评判的装甲装备维修周期决策[J].四川兵工学报, 2008,27(2):16-20.
HAN Zhan-Jun, ZHAO Li-ping. Based on maintenance quality synthetic evaluation of armored equipment maintenance cycle decision [J]. Journal of Sichuan Ordnance, 2008,27(2): 16-20.
- [6] 蒋太立.基于RCM理论的维修决策研究[D].武汉:武汉理工大学,2006:35-48.
JIANG Tai-li. Based on the theory of RCM maintenance decision research[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2006:35-48.

Research on maintenance cycle decision of the large-scale public building based on servicing quality

WU Qian^{1,2}, WU Qing³, GAO Shu-hua¹, ZHOU Tao¹

- (1. College of Civil Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China;
2. State key Laboratory of Architecture Science and Technology in west China(XAUAT), Xi'an 710055, China;
3. Lanzhou Military Area Lintong Sanatorium, Shaanxi Lintong 710600, China)

Abstract: In order to better identify a building's maintenance cycle, solve the issues of public buildings' maintenance deficiencies and maintenance excess, the paper under takes the premise in full consideration of building safety and reliability, by using multi-grade fuzzy comprehensive evaluation method and put forward the research on maintenance cycle decision model of the large-scale public building based on the servicing quality. To determine the large-scale public buildings maintenance quality and quantitative recovery level of the maintenance reliability of public buildings it has to experience the quantified reliability of reasonable correction. It finally used a reasonable structure components and equipment availability of pipeline, the maximum minimum total cost two large-scale public buildings model to calculate the maintenance period, so as to achieve the dynamic maintenance quality according to arrange the preventive maintenance cycle's purposes.

Key words: the public buildings; fuzzy comprehensive evaluation; reliability; the maintenance cycle

*Biography: WU Qian, Ph. D., Associate Professor, Xi'an 710055, P. R. China, Tel: 0086-29-82202945, E-mail: wqian1983@126.com