

基于AHP & VE的混凝土耐久性分析

黄建瓯¹, 罗方²

(1.莆田学院土木工程学院,福建 莆田 351100;

2.中国航天科技集团航天材料及工艺研究所,北京 100080)

摘要:由于耐久性不足造成工程损伤现象日益严重,在设计方案时进行耐久性评估是必要的。以提高混凝土经济性、可持续性为目的,开展了基于AHP & VE的混凝土耐久性分析。首先,结合层次分析法系统分析混凝土耐久性影响因素及其权重值,建立基于AHP & VE混凝土耐久性分析模型,通过一致性检验得到混凝土耐久性影响因素权重向量集合,消除价值工程判断的主观性;其次,针对不同寿命的耐久性方案,构建不同结构可靠度的全生命周期成本分析模型;最后,在耐久性影响因素权重向量集合基础上进一步计算功能系数和价值系数,筛选最优方案,并以案例对模型进行实证。结果表明该模型一致性检验通过,模型可行。

关键词:混凝土耐久性分析;评价模型;层次分析法;价值工程;全生命周期经济分析

中图分类号:TU723.3

文献标志码:A

引言

混凝土是应用最为广泛的建筑材料之一,在可持续发展成为经济发展核心模式的背景下,混凝土的传统生产模式暴露出日益明显的缺陷,混凝土暴露出来的问题将带来严重的经济损失。混凝土耐久性受诸多因素影响,各因素之间的关系复杂,具有很大的随机性和不确定性,对各影响因素进行量化和比较是客观需要。混凝土耐久性诸多分析法中,层次分析法(Antyctic Hierarchy Process, AHP)是一种较为客观的方法,一直是国内外学者研究混凝土时喜欢采用的方法之一。比如,林拥军等^[1]基于层次分析法建立钢筋混凝土结构安全评价模型,该

模型能系统反映混凝土框架结构受力特点。贾璐卫等^[2]应用层次分析法对正交试验数据进行分析,系统研究了各类外加剂掺量对混凝土综合性能的影响。混凝土耐久性研究除了进行耐久性能分析外,还需要综合考虑各方案经济性,而价值工程(Value Engineering, VE)分析法综合考虑了各方案的功能和成本,同时可以综合数据、专家评分和专家意见,是方案优选的可靠方法,国内外学者用此方法做了诸多研究。比如,刘光焰等^[3]为研究混凝土的实际利用价值,运用价值工程分析法系统地分析了玻璃粉混凝土的经济性,计算了4种混凝土生产过程的环境成本。冀彩云等^[4]第一次创建了完整的绿色建筑价值工程评价模型,并基于该评价模型

收稿日期:2023-05-05

基金项目:福建省自然科学基金面上项目(2021J011104);莆田市科技计划项目(2020SP003)

作者简介:黄建瓯(1985-),男,副教授,硕士,研究方向为投资决策与工程造价管理,(E-mail)258152593@qq.com

对各类混凝土进行评价,得出再生保温混凝土价值指数最高、经济性最好的结论。然而,国内学者在混凝土耐久性问题上基本从技术层面而较少从经济性层面进行研究。基于此,本文在现有研究成果基础上,创建基于不同寿命的混凝土耐久性全生命周期成本核算模型,开创性地以层次分析法为基础,引入价值工程理论对混凝土耐久性方案进行分析,一定程度上消除价值工程分析过程中价值系数判断的主观性,提高方案决策科学性。

1 理论研究基础

1.1 层次分析法、全生命周期经济分析和价值工程

权重确定的方法有多种,如专家评分法、频数统计法、熵值法和层次分析法等,其中层次分析法和熵值法相对比较客观,应用广泛^[5]。层次分析法,可将与决策有关的因素拆解成目标层、准则层及方案层等多个层次的矩阵,通过求解特征向量及一致性检验等流程确定各因素权重比值。

全生命周期经济分析(Life Cycle Cost Analysis, LCCA)是上世纪七八十年代英美学者提出的经济分析方法。LCCA强调将包括建设成本、维护成本等在内的项目全生命周期内各项成本基于一定折现率折算到某一时点进行核算和评价,其原理如图1所示。LCCA也逐渐成为价值工程分析法的理论基础。

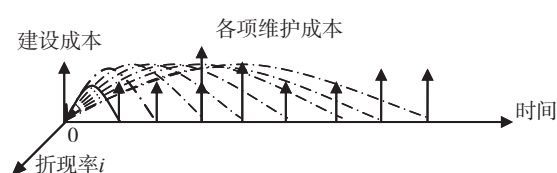


图1 全生命周期经济分析原理

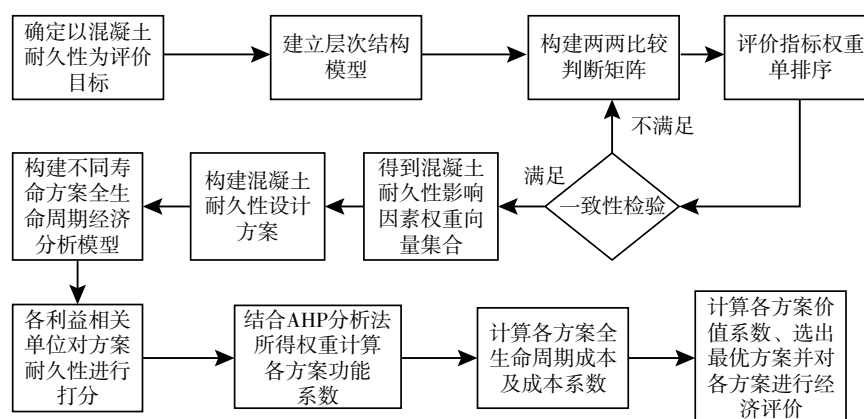


图2 基于AHP-VE混凝土结构耐久性分析流程

价值工程着重功能和全生命周期经济分析相结合,使产品、系统或服务工作达到合适的价值,寻求以最低的费用来实现产品的必要功能^[6]。1947年,受“石棉板”事件启发,麦尔斯在《美国机械工程师》上发表《价值分析》,标志着“价值工程”正式产生^[7];日本于1955年引入价值工程分析法,把价值工程与全面质量管理结合起来,形成日本具有本土特色的管理方法,日本企业也得益于此管理理念和方法,其产品质量得到质的飞跃;我国于1978年下半年才开始推广价值工程法,1984年国家经济贸易委员会推行的18种现代化管理方法中就有价值工程法。

1.2 基于AHP&VE混凝土耐久性分析流程

AHP法可以将混凝土影响因素各种不确定数据定量地表示出来,还可以得到其对于各个级别的隶属情况等信息^[8]。而价值工程是衡量产品性价比的一种重要方法,可以通过价值工程法的基本原理对不同混凝土经济性进行分析^[3]。基于AHP&VE分析流程可以有效融合两种方法的优点,减小了价值工程法在数据处理中的误差,扩大了AHP的应用范围^[9]。利用AHP构建指标矩阵,通过一致性检验后最终确定混凝土耐久性各指标权重系数,再构建实现方案,分析各方案全生命周期成本和价值系数,构建不同寿命耐久性方案全生命周期经济分析模型,并利用VE对各方案进行分析,筛选出性价比最高的方案。具体分析流程如图2所示。

2 基于 AHP 的混凝土耐久性影响因素分析

2.1 混凝土耐久性影响因素层次结构模型

混凝土工程耐久性受诸多因素影响,包括结构、构件材料及环境等 4 个层面,每个层面又可以往下细分成多个影响因素。以框架结构为例,混凝土耐久性取决于基础、柱子、梁、板等受力结构构件的耐久性,各构件的耐久性又可以继续细分为碳化、氯离子侵蚀、冻融循环、钢筋锈蚀、碱-集料反应等指标层因素。结合层次分析法的原理,将混凝土耐久性作为目标层,各受力结构构件(基础、柱、梁、板)作为项目层,依据 GB/T 50476—2019《混凝土结构耐久性设计标准规范》,同时综合张亮等^[10]、汤雷等^[11]、张娇艳等^[12]的研究成果,选取养护温度、养护湿度、抗钢筋锈蚀、氯离子含量、抗碳化性能、保护层厚度、抗冻融破坏、混凝土外加剂及水泥品种 9 个可量化研究的影响因素作为指标层,构建相对于目标层混凝土耐久性的二阶层次结构影响因素模型如图 3 所示。

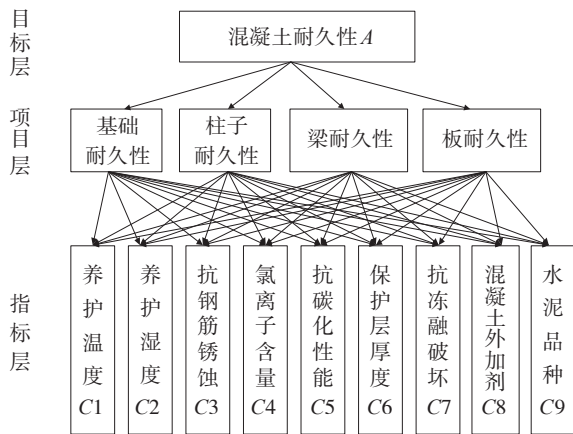


图 3 混凝土耐久性影响因素层次结构模型

2.2 混凝土耐久性影响因素比较判断矩阵

前期调研了多家设计院及相关材料领域专家意见,应用 Delphi 法结合调研数据及现有研究成果,对混凝土耐久性影响因素重要程度进行专家打分及排序,并依据打分结果构建混凝土耐久性一级指标判断矩阵,具体分析以某一受力构件为分析目标,其余构件类似。通过将图 3 中影响因素两两比较并应用 1-9 标度法得到混凝土耐久性判断矩阵

A-C 见表 1。

表 1 混凝土耐久性判断矩阵 A-C

A	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
C1	1	1	1/6	1/4	1/2	2/3	5/6	5/6	1/3
C2	1	1	1/6	1/4	1/2	2/3	5/6	5/6	1/3
C3	6	6	1	2	3	4	5	5	2
C4	4	4	1/2	1	2	3	4	4	1
C5	2	2	1/3	1/2	1	1	2	2	1/2
C6	3/2	3/2	1/4	1/3	1	1	1	1	1/2
C7	6/5	6/5	1/5	1/4	1/2	1	1	1	1/2
C8	6/5	6/5	1/5	1/4	1/2	1	1	1	1/2
C9	3	3	1/2	1	2	2	2	2	1

对表 1 中各列数据进行求和,并运用公式(1)按列归一化得到归一化判断矩阵见表 2。

$$N_{pq} = \frac{M_{pq}}{\sum_{q=1}^n M_{pq}}$$

(1)

其中, N_{pq} 为归一化后矩阵数据; $\sum_{q=1}^n M_{pq}$ 为归一化前每一列数据之和; M_{pq} 为归一化前矩阵数据。

表 2 归一化判断矩阵

A	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
C1	0.05	0.05	0.05	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
C2	0.05	0.05	0.05	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
C3	0.29	0.29	0.30	0.34	0.27	0.28	0.28	0.28	0.30
C4	0.19	0.19	0.15	0.17	0.18	0.21	0.23	0.23	0.15
C5	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.07	0.11	0.11	0.08
C6	0.07	0.07	0.08	0.06	0.09	0.07	0.06	0.06	0.08
C7	0.06	0.06	0.06	0.04	0.05	0.07	0.06	0.06	0.08
C8	0.06	0.06	0.06	0.04	0.05	0.07	0.06	0.06	0.08
C9	0.14	0.14	0.15	0.17	0.18	0.14	0.11	0.11	0.15

2.3 最大特征值、特征向量及一致性检验

应用和积法得到矩阵的最大特征向量

$$w = \{0.0472, 0.0472, 0.2929, 0.1888, 0.0933, 0.0694, 0.0579, 0.0579, 0.1452\}。$$

依据公式进一步求解矩阵的最大特征值: $\lambda =$

$$\sum_{i=1}^n \frac{[Aw]_i}{nw_i}。$$

其中, λ 为最大特征值, A 矩阵由一级指标权重组成,该公式表示以初始矩阵 A 与权重 w 相乘,再以乘积除以矩阵阶数 n 及对应的权重 w_i 并求和。可得到混凝土耐久性判断矩阵的最大特征值 $\lambda = 9.0728$ 。

为了验证矩阵数据的合理性,需进一步进行一致性检验,根据AHP法一致性检验公式可得:

$$C.I. = \frac{\lambda - n}{n - 1} = \frac{9.0728 - 9}{9 - 1} = 0.0091。$$

其中, $C.I.$ 为判断性矩阵一次性指标。通过查询平均随机一致性指标 $R.I.$ 取值表可知9阶矩阵的 $R.I.$ 标准值为1.46,可得一次性比率:

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} = \frac{0.0091}{1.46} = 0.006 < 0.1。$$

由于 $C.R.<0.1$,即保持显著性水平,依据一致性检查数据可判断该矩阵的一致性程度在可接受范围内,该矩阵通过一致性检验。由此可得混凝土结构构件耐久性各影响因素的权重向量集合为:

$W=\{\text{养护温度,养护湿度,抗钢筋锈蚀,氯离子含量,抗碳化性能,保护层厚度,抗冻融破坏,混凝土外加剂,水泥种}\}=\{0.0472, 0.0472, 0.2929, 0.1888, 0.0933, 0.0694, 0.0579, 0.0579, 0.1452\}。$

3 基于AHP&VE的混凝土耐久性分析

3.1 不同寿命的混凝土耐久性LCCA模型

工程全生命周期成本(Life Cycle Cost, LCC)是价值工程分析的基础,价值工程分析须先提前确定各混凝土耐久性方案的全生命周期成本。LCC包括建设成本、运营维护成本、环境成本和社会成本。运营维护成本为运营成本和维护成本统称,由于建设项目基本无需考虑运营成本,所以成本核算时只考虑维护成本。环境成本和社会成本目前还无有效可行核算方法,分析时可不予考虑。综上分析,可得钢筋混凝土工程全生命周期成本简易通用公式为:

$$LCC = c \times m + C_m(P/A_1, i, T) = c \times m + C_m \frac{(1+i)^T - 1}{i(1+i)^T} \quad (2)$$

其中, LCC 为全生命周期成本; c 为工程单方造价; m 为建筑面积; C_m 为年均维护成本; P 为费用现值; A_1 为费用年值; i 为折现率; T 为项目全寿命周期。

不同耐久性工程的寿命周期不同,需依据耐久性做进一步深入分析,根据我国《建筑结构可靠性

设计统一标准GB50068—2018》中的规定,钢筋混凝土工程一级结构性破坏的目标可靠度指标为 $\beta = 3.7$,混凝土结构的失效概率 $p_f = 1.078 \times 10^{-4}$ 。工程结构可靠度函数 $\beta(T)$ 、工程结构全寿命周期 T 、工程结构开始劣化时间 T_1 及初始可靠度指标值 β_0 之间的关系为^[13]:

$$\beta(T) = \begin{cases} \beta_0, & T < T_1 \\ \beta_0 - (T - T_1), & T \geq T_1 \end{cases} \quad (3)$$

根据GB/T 50476—2019《混凝土结构耐久性设计标准规范》,设定结构可靠度函数值 $\beta(T) = 3.145$,代入公式(3)可得钢筋混凝土结构使用寿命 T 与初始可靠度之间的关系为^[14]:

$$T = T_1 + (\beta_0 - 3.145)/a \quad (4)$$

式中 a 为工程结构劣化率。

由于多方案比选时各方案寿命周期 T 不同,当所比选方案寿命不等时可用共同研究周期法或者最小公倍数法使所比选方案寿命相等。由于建设项目的不可重复性,不能用最小公倍数法,只能用共同研究周期法进行分析。共同研究周期法一般取多个方案中寿命周期最小值 $T_{\min}$ 作为共同研究周期,故在公式(2)的基础上可得基于不同寿命的全生命周期经济评价模型:

$$LCC = \{c \times m(A_1/P, i, T) + C_m\} \times (P/A_1, i, T_{\min}) = \left(c \times \frac{i(1+i)^T}{(1+i)^T - 1} + C_m \right) \times \frac{(1+i)^{T_{\min}} - 1}{i(1+i)^{T_{\min}}} \quad (5)$$

3.2 基于AHP的混凝土耐久性功能系数确定

价值工程活动核心环节是价值对象的确定,为了提高有效性,需要准确选择研究对象^[15]。通过前期AHP法已确定各构件混凝土耐久性影响因素功能权重,并客观地判断了研究对象权重矩阵的科学性,为接下来的功能系数确定提供客观保障。

决策者从混凝土耐久性和经济性的角度需对多个方案做出决策,因此本文设计了3个方案。经过专家打分可得3个方案的各项耐久性影响因素功能得分,并依据AHP分析法所得权重进一步计算得

到各方案功能系数见表 3。

表 3 各方案功能系数计算结果

功能	功能权重	方案一		方案二		方案三	
		分值	加权分值	分值	加权分值	分值	加权分值
C1	0.0472	8	0.3776	8	0.3776	7	0.4248
C2	0.0472	7	0.3304	9	0.4248	6	0.3776
C3	0.2929	6	1.7574	7	2.0503	6	2.3432
C4	0.1888	5	0.9440	6	1.1328	6	1.3216
C5	0.0933	8	0.7464	8	0.7464	7	0.6531
C6	0.0694	7	0.4858	6	0.4164	7	0.4858
C7	0.0579	9	0.5211	8	0.4632	6	0.4632
C8	0.0579	8	0.4632	9	0.5211	6	0.4632
C9	0.1452	6	0.8712	7	1.0164	6	1.0164
合计	1.0000	64	6.4971	68	7.1490	57	6.2087
加权分值指数化		6.4971/(6.4971+7.149+6.2087)		7.149/(6.4971+7.149+6.2087)		6.2087/(6.4971+7.149+6.2087)	
功能系数		0.3270		0.3600		0.3130	

3.3 各方案成本系数计算

各方案各项全生命周期成本数据见表 4。

依据公式(5)计算得到各方案成本系数,获得

表 4 工程耐久性设计方案成本系数计算结果

方案名称	单方造价/(元/m ²)	建设成本/万元	平均年维护成本/元	工程结构开始劣化时间 T ₁ /年	初始可靠度指标值 β ₀	可靠度指标劣化率 a	全寿命周期/年	总成本现值/万元	成本系数
方案一	1800	2160	32 076	45	3.8	0.026	70	1991	0.3260
方案二	1950	2340	23 400	48	3.9	0.025	78	2102	0.3441
方案三	1600	1920	37 000	38	3.5	0.030	50	2015	0.3261

表 4 中,各方案全生命周期计算过程如下:

$$\begin{aligned} T_{\text{方案一}} &= T_1 + (\beta_0 - 3.145)/a = \\ &45 + (3.8 - 3.145)/0.026 \approx 70; \\ T_{\text{方案二}} &= T_1 + (\beta_0 - 3.145)/a = \\ &48 + (3.9 - 3.145)/0.025 \approx 78; \\ T_{\text{方案三}} &= T_1 + (\beta_0 - 3.145)/a = \\ &38 + (3.5 - 3.145)/0.030 \approx 50。 \end{aligned}$$

《建设项目经济评价方法与参数》^[16]中规定建设项目经济评价折现率为 8%,该折现率只适用于全过程项目决策阶段方案评价。在混凝土耐久性全生命周期经济分析中,过高的折现率会将未来维护成本折现殆尽,因而不适用于全生命周期成本计算。依据高华等^[17]的分析结果,采用 3% 作为全生命周期经济分析的折现率,同时取 $T_{\min} = \min(70, 78, 50) = 50$ 年作为共同研究周期。结合公式(5)可得各方案全生命周期成本现值如下。

方案一:

$$\begin{aligned} LCC &= (2160 \times \frac{3\% \times (1 + 3\%)^{70}}{(1 + 3\%)^{70} - 1} + 3.2076) \times \\ &\frac{(1 + 3\%)^{50} - 1}{3\% \times (1 + 3\%)^{50}} = 1991; \end{aligned}$$

方案二:

$$\begin{aligned} LCC &= (2340 \times \frac{3\% \times (1 + 3\%)^{78}}{(1 + 3\%)^{78} - 1} + 2.3400) \times \\ &\frac{(1 + 3\%)^{50} - 1}{3\% \times (1 + 3\%)^{50}} = 2102; \end{aligned}$$

方案三:

$$\begin{aligned} LCC &= (1920 \times \frac{3\% \times (1 + 3\%)^{50}}{(1 + 3\%)^{50} - 1} + 3.7000) \times \\ &\frac{(1 + 3\%)^{50} - 1}{3\% \times (1 + 3\%)^{50}} = 2015。 \end{aligned}$$

3.4 各方案混凝土耐久性价值分析及评价

依据价值工程原理,结合混凝土耐久性分析结果,可得混凝土耐久性方案成本(C)、功能(F)和价值(V)三者之间关系为: $V = F/C$ 。其中,V 为混凝土

耐久性方案价值,反映混凝土满足实际需要的程度; F 为混凝土耐久性方案的功能,依据AHP分析法结合专家评分法计算得到; C 为混凝土耐久性方案的全生命周期成本,各方案寿命不同,需用共同研究周期法进行计算。

为进一步分析各耐久性设计方案的实际价值,根据价值工程计算公式计算各设计方案价值系数,计算结果见表5。

表5 各方案价值系数计算表

方案名称	功能系数	成本系数	价值系数
方案一	0.3270	0.3260	1.003
方案二	0.3600	0.3441	1.046
方案三	0.3130	0.3261	0.960

从表5可见,方案二的价值系数最高,为最优方案。方案一的价值系数虽然不是最高,但价值系数最接近1,成本和功能最为匹配,说明该方案是资源利用率最高的方案。方案三价值系数小于1,成本系数大于功能系数,为成本相对于其耐久性能偏高、耐久性不足造成的,该方案优化空间大,可以进

一步采取措施提高混凝土耐久性,例如,进行涂层封闭的表面处理、掺加钢筋阻锈剂等。在时间及设计方案招投标法规允许的情况下,可以允许各设计单位对每个方案进行优化后再次采用价值工程分析法进行比选,或者各设计单位在参与方案投标前先进行方案优化,以保障最终中标方案的混凝土耐久性最优。

4 结束语

将层次分析法引入混凝土耐久性评价中,通过一致性检验,避免了专家评分时意见不统一的矛盾情形;计算了混凝土耐久性各影响因素的权重值,通过一致性检验得到混凝土耐久性影响因素权重向量合集,消除价值工程判断的主观性;针对不同寿命及结构可靠度的耐久性方案,构建全生命周期成本分析模型;筛选价值系数最大的方案为最优方案,价值系数小于1的方案为可优化方案,并以案例进行实证,为决策者在今后设计方案比选提供有效参考流程,提高决策科学性和效率。

参考文献:

[1] 林拥军,肖恬煦,张曾鹏,等.基于层次分析法-隶属度理论的混凝土框架结构安全性模糊综合评价方法[J].工业建筑,2022,52(10):28-38.

[2] 贾璐卫,范海宏,米晓凡,等.基于层次分析法权重分析的陶粒混凝土综合性能评价[J].材料科学与工程学报,2022,40(5):774-778.

[3] 刘光焰,高鹏飞,李德成,等.基于价值工程分析法的玻璃粉混凝土经济性分析[J].混凝土,2020,6(37):163-174.

[4] 冀彩云,刘元珍,武智荣.基于价值工程的再生保温混凝土经济分析[J].土木工程与管理学报,2021,38(1):79-84.

[5] 张杉,张雅娜,刘燕.混凝土耐久性评价指标体系及寿命预测研究[J].混凝土,2014,3(14):48-51.

[6] 王乃静.价值工程概论[M].北京:经济科学出版社,2006.

[7] 刘晓君.工程经济学[M].4版.北京:中国建筑工业出版社,2020.

[8] 元成方,牛荻涛.基于AHP法和模糊综合评价的钢筋混凝土桥梁耐久性评估[J].西安建筑科技大学学报(自然科学版),2010,42(6):829-834.

[9] 高俊诚,赵霞,陈海波,等.基于VE-AHP的高速公路服务区改造成成本控制优化研究[J].太原科技大学学报,2022,43(1):34-40.

[10] 张亮,严建军,李响.混凝土结构耐久性的研究综述[J].材料导报,2013,27(1):294-297.

[11] 汤雷,谢涛,宋人心,等.水工隧洞衬砌混凝土质量检测与安全分级评价[J].水利水电技术,2018,49(4):203-209.

[12] 张娇艳,贾力,贾治元,等.基于改进物元可拓模型的水工混凝土耐久性影响因素分析[J].硅酸盐通报,2022,41(5):1617-1625.

[13] 王增忠.基于混凝土耐久性的建筑工程项目全寿命经济分析[D].上海:同济大学,2006.

[14] 黄建瓴,罗方.基于全生命周期成本的工程结构设计方案经济评价[J].建筑经济,2020,41(12):64-68.

- [15] 段国荣.基于价值工程视角的混凝土外加剂企业技术创新研究[J].科技管理研究,2018,13(27):185-189.
- [16] 国家发展改革委建设部.建设项目经济评价方法与参数[M].3版.北京:中国计划出版社,2006.
- [17] 高华,侯晓轩.PPP物有所值评价中折现率的选择——基于STPR法与CAPM模型[J].财会月刊,2018,8(14):107-112.

引用格式:

- 中 文:黄建瓯,罗方.基于AHP&VE的混凝土耐久性分析[J].四川轻化工大学学报(自然科学版),2024,37(3):87-93.
- 英 文:HUANG J O,LUO F.Analysis of concrete durability based on AHP & VE[J].Journal of Sichuan University of Science & Engineering (Natural Science Edition),2024,37(3):87-93.

Analysis of Concrete Durability Based on AHP & VE

HUANG Jian 'ou'¹, LUO Fang²

(1. Institute of Civil Engineering, Putian University, Putian 351100, China; 2. Aerospace Materials and Technology Research Institute of China, China Aerospace Science and Technology Group, Beijing 100080, China)

Abstract: Due to the increasing severity of engineering damage caused by inadequate durability, it is necessary to conduct durability assessment in the design phase. In order to improve the economy and sustainability of concrete, a durability analysis based on AHP & VE (Analytic Hierarchy Process and Value Engineering) is carried out. Firstly, the influential factors and their weight values of concrete durability are systematically analyzed using the analytic hierarchy process. Then, a concrete durability analysis model based on AHP & VE is established, and a consistency test is conducted to obtain a collection of weight vectors for the influential factors of concrete durability, eliminating the subjectivity of value engineering judgment. Secondly, for durability schemes with different lifespans, a life cycle cost analysis model is developed based on different structural reliability levels. Finally, the functional coefficient and value coefficient are calculated based on the collection of weight vectors for durability influential factors, and the optimal scheme is selected. A case study is conducted to validate the model. The results show that the model passes the consistency test and is feasible.

Key words: analysis evaluation of concrete durability; evaluation mode; analytic hierarchy process; value engineering; life cycle cost analysis