

文章编号:1671-8879(2008)05-0023-04

改进层次分析法在路面施工过程控制中的应用

李海滨,沙爱民

(长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室,陕西 西安 710064)

摘要:通过分析目前影响路面施工质量的因素,依据 Delphi 法建立全面定量化和定性化的施工控制指标体系模型,运用改进层次分析法(AHP)对其中指标进行权重计算,采用模糊综合评判法对施工控制情况进行整体评价。并对安徽某高速公路的集料质量控制和施工控制进行了实证分析。研究表明,所确定的集料质量控制的先后顺序为针片状大于压碎值、压碎值大于含泥量(质量分数)。

关键词:道路工程;路面质量;过程控制;改进 AHP 法;集料控制;模糊综合评价

中图分类号:U416.04 **文献标志码:**A

Application of improved AHP in pavement construction control

LI Hai-bin, SHA Ai-min

(Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education,
Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: Based on the method of Delphi, through analyzing the affecting factors of pavement construction quality, the overall index system model for construction control in quantity and quality is proposed. According to the principle of improved AHP and fuzzy synthetic evaluation, this paper evaluates the right weight of pivotal index and the construction control. Then the methods are applied in evaluating the aggregate quality and expressway construction quality in Anhui Province. The results show that the control order is the elongated particles in first, the crushing value in the second, the mud content in the third. 4 tabs, 11 refs.

Key words: road engineering; pavement quality; process control; improved AHP; aggregate control; fuzzy synthetic evaluation

0 引言

路面施工过程对最终路面质量的形成有着重要作用,由于其控制环节繁多,所以对路面质量影响各不相同。目前中国公路建设普遍存在着赶工期现象,路面早期破坏严重,很大程度与施工过程控制不严格有关^[1-2]。正确控制施工指标,合理评价施工配

置,实时监控并及时反馈信息,对保证路面质量、合理利用工程资源、延长路面使用寿命都具有重要意义。如何确定路面施工控制指标体系,体系中指标的权重如何计算,以及建立的指标体系是否符合施工现状,这是普遍存在的问题,同时也是一个多目标决策问题。鉴于此,本文采用 Delphi 法得到控制指标并建立指标体系,运用改进 AHP 法确定体系中

收稿日期:2007-11-12

基金项目:国家西部交通建设科技项目(200331822334)

作者简介:李海滨(1981-),男,山东潍坊人,工学博士研究生,E-mail:lihaibin1212@126.com。

指标的权重,应用模糊综合评判法对施工进行评价,合理解决了上述问题。实际工程中的运用也说明这是一种简便有效的方法。

1 改进 AHP 法

层次分析法(AHP)^[3]是系统工程中对非定量事件做出定性定量相结合的一种系统分析方法,特别适用于处理多目标、多层次的复杂大系统问题。把系统分析归结为最底层相对于最高层的相对重要性权重的确定或相对优劣次序的排序问题,最终形成一个多层次的分析结构模型,从而为决策方案的选择提供依据,使问题可以得到合理的解答。其中判断矩阵的一致性问题的难点,虽然在实际应用中,可以凭借大致的估计来调整判断矩阵,但这样毕竟带有主观性和盲目性,并且调整的过程相当复杂,往往需多次重新赋值。为此,本文引入最优传递矩阵,对 AHP 法进行改进,使之在开始阶段就满足一致性要求,直接求出权重值,避免了后期的一致性检验。

1.1 改进 AHP 法的推导

在过程开始时,设实数矩阵 $A = (a_{ij})$, $B = (b_{ij})$, $C = (c_{ij}) \in R^{n \times n}$, 其中 a_{ij} , b_{ij} , c_{ij} 分别为矩阵 A , B , C 中的因子,则以下的规定是成立的:若 $a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$, 且 $a_{ij} = \frac{a_{ik}}{a_{jk}}$, 则称 A 为互反矩阵,且是一致的;若 $b_{ij} = -b_{ji}$, 且 $b_{ij} = b_{ik} - b_{jk}$, 则称 B 是反对称矩阵,且是传递的。

由此可知,若 A 是一致的,则 $B = \lg(A)(b_{ij} = \lg(a_{ij}), \forall i, j)$ 是传递的;反之,若 B 是传递的,则 $A = 10^B (a_{ij} = 10^{b_{ij}}, \forall i, j)$ 是一致的。若存在传递矩阵 C , 且使 $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (c_{ij} - b_{ij})^2$ 最小,则称 C 为 B 的最优传递矩阵。那么,若 B 是反对称矩阵,则 B 的最优传递矩阵 C 应满足 $c_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (b_{ik} - b_{jk})$ 。

在传统的 AHP 法中,通过 1~9 标度法构造的判断矩阵 $A = (a_{ij})$ 具有 $a_{ij} > 0$, $a_{ii} = 1$, $a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$ 的特点。显然可知: A 是互反矩阵, $B = \lg(A)$ 是反对称矩阵,若 C 是 B 的最优传递矩阵,构造矩阵 $A^* = 10^C$, 则由前面所述可知,矩阵 A^* 是 A 的拟优化传递矩阵,并且它是一致的。所以,由 A^* 就可直接求出权重值,不必进行后面的一致性检验。

1.2 改进 AHP 法的程序实现

由上述的推导可以看出,在步骤中涉及到矩阵

的许多计算,为了减少运算量,本文就改进 AHP 法的计算编写了一段类 C 语言程序(篇幅所限,省略),可以减少计算量,直接得到最终的结果。

2 在集料控制中的应用

传统的集料质量控制中,主要是通过检测表征集料的一系列质量特征指标来控制,不仅指标繁多,而且往往忽略了控制先后顺序的问题^[4-5],即这些指标的权重问题,所以很多时候的检测控制没有针对性和时效性。为了避免此类问题的出现,在工程开工前期及过程中,应用 Delphi 法,统计出比较客观的反映集料实际情况的关键指标,继而运用改进 AHP 法,计算出各个指标的权重值。以使用户知道集料控制中哪些指标是主要因素,哪些是次要因素。

以沥青路面原材料中的“碎石”指标为例,运用 Delphi 法,汇总统计得到影响“碎石”的关键指标为“压碎值、针片状、含泥量(质量分数)”,其中对“压碎值”和“针片状”应用 1~9 标度法,得到“压实度”和“针片状”的相对重要性函数^[6],即压实度与针片状对于路面施工质量的影响程度,其取值如表 1 所示(下标 y, z 分别代表“压碎值”和“针片状”)。

表 1 压碎值和针片状的评定值 $f(x_y, x_z)$

1	1	1/3	1/3	3	1	1/3	1	1	3
1/3	1	1/5	1	1	1	1/3	1	1/3	3

利用表 1 中的数据,求解 $f(x_y, x_z)$ 的算术平均值为

$$\bar{f}(x_y, x_z) = \frac{\sum_{i=1}^{20} f_i(x_y, x_z)}{20} = 1.04$$

对于其他的统计和计算过程,由于篇幅所限而省略。

在求得所有指标间相对重要性数据并构造判断矩阵的基础上,利用改进 AHP 法的求解程序,计算各级指标的指标权重^[7],如表 2 所示。

表 2 碎石指标权重

指标	权重值
压碎值	0.328
针片状	0.403
含泥量	0.269

由表 2 可知,在碎石质量控制中,控制的先后次序是“针片状大于压碎值、压碎值大于含泥量”,说明在施工前期以及施工过程中控制路面用集料时,应首先控制其针片状含量(质量分数),其次是压碎值,最后是含泥量,较之规范^[8]规定,更加简练和有针对性。

性。如果选用集料的料源不发生变化,此控制顺序可以一直使用,避免了盲目性。改进 AHP 法确定权重的方法同样可适用于其他指标中。

3 在施工过程控制中的应用

沥青路面施工过程中需要控制的环节很多,任何的疏忽都会影响路面的最终质量,为了做到控制的针对性,应用改进 AHP 法并结合模糊综合评价方法,以“碎石”控制为基础,给出其在施工过程“原材料”控制中的运用。

3.1 控制指标体系的建立

依据 Delphi 法,汇总统计各位专家对施工过程中需要控制的指标的意见,最终得到施工过程中的控制指标,按照层次分析法原理,建立控制指标体系如表 3 所示。

表 3 控制指标体系

目标层	一级子目标层	二级子目标层	评价因子层		
沥青路面 质量施工 过程控制	材料	原材料	碎石 (0.412)	压碎值	0.328
				含泥量	0.403
				针片状	0.269
			水泥 (0.160)	水泥标号	0.293
				初终凝时间	0.707
				沥青 (0.428)	软化点
	低温延度	0.309			
∴	∴	∴	∴	∴	

注:表中数字为对应指标的权重值。

根据上述“集料”中确定权重的方法,逐步计算出“原材料”中各个指标的权重值。

3.2 模糊综合评判

在路面施工中,很难分清主要因素和次要因素,两者存在一定的模糊性,施工质量问题症状可能会成为另一个质量问题的产生原因,而其产生原因又可能是别的施工质量问题的症状表现。所以,沥青路面施工过程是一个模糊过程,其控制是一个模糊的控制评价。

依据指标的等级评价,应用 Delphi 法汇总得到施工过程中与“原材料”相关的指标模糊评价因子,如表 4 所示。结合得到的指标权重值,根据模糊评价向量 $\mu = \omega^* \cdot R$, 计算各指标层的模糊评价向量 μ 。其中, ω^* 为指标权重向量集, R 为某层次的模糊评判矩阵。依次由指标体系的“评价因子层”到“目标层”,最终可得到关于目标层的模糊评价向量 $\mu_m = [\mu_1 \ \mu_2 \ \dots \ \mu_n]$ 。

表 4 原材料指标等级评价

原材料		评语集				
		相当明显	极明显	很明显	较明显	略明显
碎石	压碎值	0	0.1	0.7	0.2	0
	针片状	0	0.2	0.6	0.2	0
	含泥量	0	0.1	0.7	0.2	0
水泥	水泥标号	0	0.4	0.5	0.1	0
	初终凝时间	0.1	0.4	0.3	0.2	0
沥青	软化点	0.2	0.5	0.3	0	0
	低温延度	0.1	0.1	0.7	0.1	0

根据上面所讲,由第四级描述“碎石”的 3 个指标(压碎值、针片状、含泥量)组成的模糊评判矩阵为

$$R_{41} = \begin{bmatrix} 0 & 0.1 & 0.7 & 0.2 & 0 \\ 0 & 0.2 & 0.6 & 0.2 & 0 \\ 0 & 0.1 & 0.7 & 0.2 & 0 \end{bmatrix}$$

得到“碎石”的指标权重为

$$\omega_{41} = [0.328 \ 0.403 \ 0.279]$$

根据式 $\mu = \omega^* \cdot R$, 计算“碎石”的评价指标向量为

$$\mu_{41} = \omega_{41}^* \cdot R_{41} = [0.328 \ 0.403 \ 0.279] \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0.1 & 0.7 & 0.2 & 0 \\ 0 & 0.2 & 0.6 & 0.2 & 0 \\ 0 & 0.1 & 0.7 & 0.2 & 0 \end{bmatrix} = [0 \ 0.1413 \ 0.6667 \ 0.2020 \ 0]$$

同理,可以计算其余的第四层指标评价向量。

(1)“水泥”指标

$$\mu_{42} = \omega_{42}^* \cdot R_{42} = [0.293 \ 0.707] \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0.4 & 0.5 & 0.1 & 0 \\ 0.1 & 0.4 & 0.3 & 0.2 & 0 \end{bmatrix} = [0.0707 \ 0.4000 \ 0.3586 \ 0.1707 \ 0]$$

(2)“沥青”指标

$$\mu_{43} = \omega_{43}^* \cdot R_{43} = [0.691 \ 0.309] \cdot \begin{bmatrix} 0.2 & 0.5 & 0.3 & 0 & 0 \\ 0.1 & 0.1 & 0.7 & 0.1 & 0 \end{bmatrix} = [0.1691 \ 0.3764 \ 0.4236 \ 0.0309 \ 0]$$

以此类推,得出“原材料”模糊评价指标向量为

$$\mu_{31} = \omega_{31}^* \cdot R_{31} = [0.412 \ 0.16 \ 0.428] \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0.1413 & 0.6667 & 0.2020 & 0 \\ 0.0707 & 0.4000 & 0.3586 & 0.1707 & 0 \\ 0.1691 & 0.3764 & 0.4236 & 0.0309 & 0 \end{bmatrix} = [0.0837 \ 0.2833 \ 0.5134 \ 0.1238 \ 0]$$

根据已建立的指标体系逐层计算,最终得到一个“一级子目标层”关于“目标层”的指标向量。

3.3 路面控制等级的确定

在得到“目标层”的指标向量 μ_m 后,运用最大隶属度原则,进行向量识别以确定控制等级^[9-11]。给定阈值 μ_0 ,在 μ_m 中找出 $\mu_k, \mu_k = \max[\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n]$,如果 $\mu_k \geq \mu_0$,则判定过程控制的等级为第 k 级,隶属度为 μ_k ;如果 $\mu_k < \mu_0$,则会拒绝判定,即最大隶属原则失效。

最大隶属原则失效时,找出与 μ_k 最接近的 μ_i ,令 $\delta = \mu_k / (\mu_k + \mu_i)$ 。

当 $i = k - 1$ 时,则判定路面施工过程控制的等级为第 $(k + \delta - 1)$ 级;

当 $i = k + 1$ 时,则判定路面施工过程控制的等级为第 $(k - \delta + 1)$ 级。

根据此方法,对得到的“目标层”的评价向量 μ_m 进行识别,对照制定的控制标准,最终得出路面施工的过程控制等级,在此过程中,可以及时发现其中的问题,并确定该工程单位是否有资格施工,也证明了这种综合方法的实用性。

4 结 语

(1)在定性和定量指标的基础上,通过“德尔菲”法建立了路面施工质量过程控制指标体系;运用改进 AHP 法确定体系中各个控制指标权重是简便可行的,能够避免一致性检验;实现计算机语言程序化后,所需判断信息更加简单、直观,容易掌握。

(2)集料中各个指标的控制顺序为,针片状大于压碎值、压碎值大于含泥量,只要集料来源不发生大的变化,控制指标可以在一定时期内应用,无须每次评价都重新计算。此方法同样适用于其他施工环节控制。

(3)改进 AHP 法和模糊评价综合应用于路面施工过程控制,可以合理地反映路面施工过程的控制程度。根据确定的施工过程控制指标体系,可以及时发现施工中关键因素存在的问题并反馈调整,从而实现了施工过程的实时监控。

参考文献:

References:

[1] 沙庆林. 沥青路面早期破坏现象及预防[M]. 北京:

人民交通出版社,2001.

- [2] 曾凡奇,黄晓明. 超载对沥青路面的影响[J]. 交通运输工程学报,2004,4(3):8-10.
ZENG Fan-qi, HUANG Xiao-ming. Asphalt pavement stress under overloading[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2004, 4(3): 8-9.
- [3] 郭亚军. 综合评价理论与方法[M]. 北京:科学出版社,2002.
- [4] 吴道流. 粒料基层沥青路面配合比设计及施工分析[J]. 筑路机械与施工机械化,2007,24(7):15-17.
WU Dao-liu. Granular base asphalt pavement design and construction analysis [J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2007, 24(7): 15-17.
- [5] 王子育,杨富生. 沥青路面施工中料场管理与控制[J]. 筑路机械与施工机械化,2007,24(6):27-28.
WANG Zi-yu, YANG Fu-sheng. Management and control of material yard in asphalt pavement construction [J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2007, 24(6): 27-28.
- [6] Saaty T L. The analytic hierarchy process[M]. New York: Mcgraw-Hill, 1980.
- [7] 马士宾,张绍阳,王选仓,等. 道路环境影响综合评价指标权重确定方法[J]. 长安大学学报:自然科学版, 2007, 27(4): 37-41.
MA Shi-bin, ZHANG Shao-yang, WANG Xuan-cang, et al. Determining method of index weight for synthetic evaluating road environment[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2007, 27(4): 37-41.
- [8] JTG F40-2004, 公路沥青路面施工技术规范[S].
- [9] 杜顺成,戴经梁. 沥青混合料永久变形评价指标[J]. 中国公路学报,2006,19(5):18-22.
DU Shun-cheng, DAI Jing-liang. Permanent deformation evaluation index of asphalt mixtare[J]. China Journal of Highway and Transport, 2006, 19(5): 18-22.
- [10] 李海滨. 沥青路面工程质量过程控制指标体系的研究[D]. 西安:长安大学,2006.
- [11] 彭祖赠,孙钰玉. 模糊(Fuzzy)数学及其应用[M]. 武汉:武汉大学出版社,2003.