

文章编号:1671-8879(2014)06-0041-09

# 公路工程总承包项目选择评价体系

赵文义<sup>1</sup>, 杨梓钰<sup>1</sup>, 赵久柄<sup>2</sup>, 王朝辉<sup>1</sup>

(1. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064; 2. 中交第一公路勘察设计研究院有限公司, 陕西 西安 710075)

**摘要:**为了便于总承包商对公路工程总承包项目做出合理的选择评价,从项目条件、总承包单位、建设单位、外部环境、项目后续影响以及项目创新6个方面构建了公路工程总承包项目选择评价的三级指标体系,并建立评价指标的递阶层次模型。结合多目标决策原理将主观赋权和客观赋权按照一定的原则组合,利用 Kendall 一致性检验提出了灰色关联度理论组合赋权的多目标决策优化改进模型,对总承包项目的目标项目进行选择评价,最终通过评语集,选择投标项目,实现总承包单位投标决策的优化。最后,对总承包项目评价体系进行了实例分析。研究表明:所构建的项目选择评价体系契合公路工程总承包的特点,能有效地从总承包商的角度对总承包项目进行项目选择评价;该选择评价体系不仅可以模拟单个总承包项目的投标决策,同样适用于多个公路工程总承包项目的选择评价。

**关键词:**道路工程;总承包项目;项目选择;评价体系;组合赋权

**中图分类号:**U415 **文献标志码:**A

## Selection evaluation system of highway engineering general contracting projects

ZHAO Wen-yi<sup>1</sup>, YANG Zi-yu<sup>1</sup>, ZHAO Jiu-bing<sup>2</sup>, WANG Chao-hui<sup>1</sup>

(1. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China;

2. CCCC First Highway Consultants Co Ltd, Xi'an 710075, Shaanxi, China)

**Abstract:** In order to facilitate the general contractor to choose reasonable assessment on highway engineering general contract project, a three-grade-index system of highway engineering general contracting project's selection and evaluation was proposed from six aspects such as project condition, the overall contractor, construction units, the external environment influence, project follow-up and project innovation, and the evaluation index hierarchical model was established. Combining the subjective weighting and objective weighting according to certain principles, this paper proposed an improved model of multi-objective decision of combination weighting method according to the gray correlation theory on the premise of Kendall consistency test. This model was used to evaluate the general contracting project targets, to select bidding project through the evaluation set, and to optimize the bidding decisions of general contractor. Finally, this paper took one highway engineering general contract project as an example, and used the system proposed to analyze this case. The results show that the project selection evaluation system constructed in

收稿日期:2014-06-20

基金项目:中交第一公路勘察设计研究院有限公司研究项目(20130615)

作者简介:赵文义(1973-),吉林农安人,编审,工学博士,E-mail:13572500991@qq.com。

this paper agrees with the characteristics of highway engineering general contracting, and can select the general contracting project effectively from the perspective of the general contractor; the selection evaluation system could not only simulate a general contract project bidding decision, but also apply to the selection evaluation of multiple highway engineering general contracting project. 6 tabs, 1 fig, 18 refs.

**Key words:** road engineering; general contract project; project selection; evaluation system; combination weighting

## 0 引言

工程总承包模式起源于 20 世纪 80 年代的美国,凭借其业主倾向、资源配置、综合效益等诸多优势很快得到业主和承包商的青睐<sup>[1-3]</sup>。作为新兴建设模式,实践经验较少,因此以公路工程总承包项目选择为研究对象的选择评价体系目前鲜有研究。但是,针对其他领域以及同领域内其他研究对象的评价与决策的研究,为总承包项目选择评价体系的研究提供了参考。崔东红等提出了改进的层次分析法、熵值法、灰色关联原理在建设工程项目前期投标决策中的运用,根据工程实际,建立投标前期决策指标体系,并用熵值组合赋权法确定权重,在此基础上利用灰色关联分析模型对项目进行评价<sup>[4]</sup>;朱建国等提出了基于 spearman 等级相关系数组合赋权方法的精细化管理效果评价模型,并获得相关评价指标的效果值<sup>[5]</sup>;王朝辉等提出了将灰色关联度组合赋权应用于道路养护顺序的优化评价中<sup>[6]</sup>。基于此,本文在传统灰色关联分析的基础上,结合公路工程总承包项目选择评价指标体系的特点,利用 Kendall 一致性检验提出灰色关联度法组合赋权的多目标决策优化改进模型。从总承包单位的角度出发,综合分析总承包项目选择评价指标,构建合理、全面的项目选择评价体系,为总承包单位的投标决策提供依据,实现公路工程总承包项目效益最大化。并以本文所构建的逻辑链条和评价体系为雏形,实现公路工程总承包项目的决策知识系统的探索,为公路工程总承包项目选择决策软件的开发和发展做出一定的贡献。

## 1 总承包项目选择评价体系的构建

对于整个公路工程总承包项目而言,涉及的范围非常广泛,必须结合公路工程总承包的特点构建合适的选择评价体系,才能对每个评价指标都做到符合项目实际情况的判断和科学、准确的评价<sup>[7]</sup>。本文拟构建的选择评价体系包括 2 个部分:评价指

标体系和指标评价模型。首先,进行市场信息的搜集和预测并选取合理的评价参数建立客观、全面、科学、系统的选择评价指标体系,这是目前总承包商进行项目选择评价的前提和依据;其次,将定性指标转化为定量指标,利用数学和经济学的建立综合的项目选择评价模型,对总承包项目涉及的各个方面进行评价并得到可供直观判断的评价结果,这是总承包商进行项目选择的核心和有效方法。通过评价指标与评价模型的结合,组成公路工程总承包项目选择的完整评价体系。

在整个评价体系中,权重是项目评价体系中各个评价指标重要程度的数学量化表示,是一种最直观表现形式,也是决策者的基础决策依据。以最低一级评价指标的专家打分为初始决策依据,以获得合理的指标权重为工作重点,建立一种基于灰色关联度理论的主客观组合赋权评价模型,实现客观信息与主观信息的综合,获得逻辑性、理论性和实用性相结合的评价结果。

拟按照图 1 所示的流程,从总承包商的角度,以几种成熟的主客观赋权方法为基础,利用 Kendall 一致性检验,提出一种改进的组合赋权模型。通过定性的指标分析和定量的指标评分,对招标项目进行综合的判断和评价,为总承包商选出与之能力相匹配、发展战略相吻合的项目。

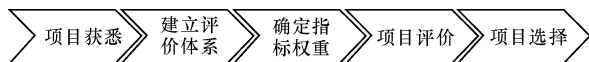


图 1 总承包项目选择研究流程

Fig. 1 Flow of general contracting projects' evaluation study

## 2 总承包项目选择评价指标体系

### 2.1 选择评价指标体系的构建

对公路工程总承包商而言,选择合适的工程项目进行投标是提高中标概率、获得良好经济效益的关键环节<sup>[8]</sup>。在总承包模式下,公路工程总承包项目的选择评价与以往的建设模式相比发生了很大的变化:①评价对象多样化:基于公路工程总承包项目

的特点,总承包商在进行投标决策时必须要考虑整个项目实施过程中将要面临的风险因素,对多种因素进行综合评价;②项目评价内容多样化:原有的项目决策评价以财务评价为主,总承包模式下的投标评价开始向包括财务评价在内的经济评价、环境影响评价、社会效益评价等多种评价发展;③项目评价的时间范围发生变化:总承包商的选择评价体系逐渐向对整个招标项目全过程的评价转变,需要对工程项目的全过程进行合理分析、预测,构建一套全方位、多层次、多指标的选择评价体系。以上变化决定了在总承包单位必须遵循变化规律构建出符合总承包建设模式的选择评价体系,并以此为依托,应用合适的项目评价模型,进行公路工程总承包项目的选择评价。

本文按照公路工程总承包项目的特点,对公路工程总承包项目建设全过程可能涉及的各个方面进行全面、深入的分析,总结出总承包商进行项目选择时的影响因素,得出总承包项目选择评价的各级指标,组成评价指标体系,如表 1 所示。

该公路工程总承包项目评价指标体系包含 6 个一级指标、24 个二级指标、50 个三级指标,该体系中,每个评价指标都是由低一级的若干因素决定的,每一指标的单因素评价是由多层次的多因素综合评判<sup>[5]</sup>。总而言之,公路工程总承包项目的评价就是以该评价指标体系为基础,构建一种契合公路工程总承包项目特点的指标评价模型,实现评价指标由低级到高级逐层评价,最终得到对总承包项目整体的合理评价。

2.2 项目选择评价指标的内涵

2.2.1 项目条件

项目条件是备选项目本身的基本条件,主要包括待选项目的技术可行性、经济可行性以及项目本身所处的环境条件等方面内容,项目条件是总承包商进行项目选择的首要前提条件。总承包商可以根据待建项目的性质、规模、工程难易程度以及工期等条件判断该项目的技术可行性,从项目风险可控性、盈利空间以及投资规模衡量项目的经济可行性,同时项目的环境条件对总承包商的项目选择也有重要的影响,体现在项目所在地、现场条件、原材料供应是否便捷等方面。

2.2.2 建设单位条件

建设单位是总承包单位在项目实施过程中最重要的合作者,建设单位的商业信誉、争端处理能力以及以往招标的公平性,能否按期支付工程款以及面

表 1 总承包项目选择评价指标体系		
Tab. 1 Evaluation index system of genetal contrating project seletion		
一级指标	二级指标	三级指标
项 目 条 件	技术可行性	工期
		工程难易程度
		工程性质
		项目进度的可靠性
		项目规模
	经济可行性	盈利能力
		风险可控性
		投资规模
		项目报价
	项目环境条件	项目所在地
		现场条件
		项目重要性
		原材料的供应
建 设 单 位	建设单位商业声誉	
	处理争端能力	
	招标公平性	
	按期支付工程款	
	索赔难易程度	
	以往合作经验	
总 承 包 单 位	技术条件	设计能力和条件
		核心技术能力
		施工技术和机械设备
		类似项目的总承包经验
		项目新技术、新工艺的科研水平
	管理能力	集成化项目管理能力
		全过程设计施工管理能力
		与建设单位和监理单位协调能力
	投标竞争力	投标准备情况
		投标竞争优势
		财务能力
	人员	设计、施工技术及管理人員配备
		项目参与人员的科研能力
		参与人员的合作、协调能力
		参与人员的工作达标率
	企业环境	企业的总体发展战略
		当前进行的其他项目
		企业文化兼容性
外 部 环 境	信息资源	及时性
		完整性
		可靠性
	与其他项目 关联度	资源共享性
		财务互补性
		技术关联性
	自然环境	
	市场环境	
项 目 后 续 影 响	社会影响	促进总承包市场及行业发展
		项目的长期存活及发展
		促进区域经济发展
	对总承包单位 的后续影响	提高建设资质
		提高后续项目的中标概率
		开拓市场
		人才的培养
		提升企业知名度和社会信誉
项 目 创 新	应用创新	施工技术创新
		设计创新
		管理创新
	理念创新	沿线环境保护理念
		沿线文化保护理念

临设计变更、施工变更等情况时索赔的难易程度等都是总承包单位在进行项目选择时必须要考虑的重要因素。同时,总承包单位与建设单位的以往合作经验也是影响项目选择因素之一。

2.2.3 总承包单位自身条件

总承包单位的自身条件必须满足待建项目的要求,这是总承包商进行项目选择的必备条件。从技术条件上讲,总承包单位必须具有与待建项目要求相匹配的设计能力和条件、施工技术和机械设备、工程所需新技术和新工艺的研发能力以及同类工程的总承包经验。在管理能力方面须具备集成化的项目管理能力、全过程设计施工管理能力、与其他参与单位的协调能力。在人员情况方面,必须具备与待建项目要求的能力和数量相适应的设计、施工、管理人员,同时要求项目参与人员具备较高的工作达标率,以及项目所需新技术的科研能力并保持良好的沟通、协调、协作能力。总承包单位在进行项目选择时还应该考虑本单位正在进行的其他项目与待建项目之间的关联性,包括资源共享性、财务互补性和技术相关性 3 个方面,争取实现各个项目之间的优势互补。

2.2.4 外部环境

外部环境对总承包单位项目选择的影响主要表现在自然环境、市场环境、政策法规以及宏观经济状况等方面。在市场化经济体制的潮流下,总承包模式的发展,离不开市场的推动,因此,在总承包项目选择时必须考虑公路建设行业总承包市场的发展状况以及政府部门颁发的政策法规的导向性。从宏观角度讲,国家宏观经济的发展状况也是项目选择要考虑的因素之一。

2.2.5 项目的后续影响力

项目的后续影响力包括社会影响力和对总承包单位的后续影响 2 个方面。对总承包单位的后续影响的表现形式有:该项目完成后对以后项目中标几率的影响,该项目对总承包企业知名度以及商业信誉的影响,该项目对总承包单位人才培养以及管理创新能力的提升等方面。良性的项目后续影响不仅能够促进中国总承包市场的发展成熟,更是总承包单位后续发展的动力源泉。

2.2.6 项目创新

项目创新由应用型项目创新以及理念型项目创新两方面组成。其中,应用型项目创新是指在项目实施过程中的技术创新、设计创新和管理方法创新,这三方面几乎涵盖了项目实施的全过程,其中理念

型创新主要是指建设过程中的环境保护理念和人文保护理念的创新。

3 总承包项目选择评价模型的构建

公路工程总承包项目的选择评价指标众多,并且多数指标为定性指标,且各指标的属性、重要程度和可比性均不相同。本文所建立的公路工程总承包项目选择评价模型实质上是实现各级评价指标逐层量化评分,并得到项目整体最终评价结果的过程。

3.1 分值确定方法

由于各级评价指标多为定性指标,采用专家打分法,对专家意见进行统计、处理、分析和归纳,客观地综合多数专家经验与主观判断,实现评价指标定性到定量的转化,更直观、准确地反映评价指标的特性<sup>[9]</sup>。本文构建的模型拟采用最低一级指标分值由 5 位专家打分取平均值,高级指标由低级指标的打分值构建的决策矩阵逐层评价,逐层确定分值的方式进行。总承包项目的最终评价结果和一、二、三级评价指标的评分值均以百分制的形式展示,其取值范围规定为[0,100]。对于各级指标的分值和最终评价结果,分别按照评分划分评语标尺,进行等级划分,将评价等级均划分为 5 个等级,如表 2 所示。

表 2 离散语言值标尺

Tab. 2 Discrete lengrlage valme scale

评分值	85~100	75~85	60~75	50~60	0~50
各级指标 评分标尺	优	良	中	次	差
项目整体 评分标尺	推荐选择	可选择	不推荐 选择	不建议 选择	不可选择

3.2 主观赋权

主观赋权法是以决策者的主观经验判断或者主观重视程度为依据,对各个指标进行权重系数的确定。常用的主观赋权方法有专家咨询法、二项系数法、层次分析法等<sup>[10-12]</sup>。为了兼顾主观赋权法的逻辑性和解释性,提高主观权重的准确性和可靠性,结合公路工程总承包项目选择评价指标体系多层次多指标的特点,建议采用专家咨询法和层次分析法 2 种主观赋权法。

3.2.1 专家咨询法

根据专家咨询以及综合分析的结果,建议总承包项目选择评价指标体系的项目条件、建设单位条件、总承包单位自身条件、外部环境、项目后续影响力和项目创新这 6 项一级指标的主观权重分别为:0.25,0.20,0.33,0.09,0.09,0.04。

建议项目条件的二级指标的主观权重分别为:0.40,0.40,0.20。其中技术可行性的三级指标权重分别为:0.25,0.30,0.15,0.20,0.10;经济可行性的三级指标权重分别为:0.35,0.20,0.20,0.25;项目环境条件的影响因素为:0.35,0.30,0.10,0.35。

建设单位条件的二级指标的主观权重分别为:0.10,0.15,0.15,0.25,0.25,0.10。

总承包单位自身条件的二级指标主观权重分别为:0.35,0.20,0.15,0.15,0.05,0.05,0.05。其中技术条件的三级指标权重分别为:0.30,0.20,0.15,0.10,0.25;管理能力的三级指标权重分别为:0.30,0.50,0.20;投标竞争力的三级指标权重分别为:0.20,0.40,0.40;人员情况的三级指标权重分别为:0.30,0.30,0.10,0.30;企业环境的三级指标权重分别为:0.40,0.40,0.20;信息资源的三级指标权重分别为:0.35,0.25,0.40;与其项目关联度的三级指标分别为:0.30,0.35,0.35。

外部环境的二级指标主观权重分别为:0.15,0.35,0.25,0.25。

项目后续影响力的二级指标主观权重分别为:0.30,0.70。其中,社会影响的三级指标权重分别为:0.30,0.40,0.30;对总承包单位的后续影响分别为:0.30,0.30,0.20,0.10,0.10。

项目创新的二级指标主观权重分别为:0.70,0.30。其中应用创新的三级指标权重分别为:0.40,0.40,0.20;管理创新的三级指标权重为 0.50,0.50。

3.2.2 层次分析法

对上文构架的评价指标,利用表 3 所示的 1—9 标度法,对比同级评价指标的重要程度,构建比较矩

阵  $\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ a_{m1} & \cdots & a_{mm} \end{pmatrix}$

表 3 1~9 标度值的含义

标度值	含义
1	两因素同等重要
3	两因素中后者稍重要
5	两因素中后者明显重要
7	两因素中后者强烈重要
9	两因素中后者极端重要
2、4、6、8	上述两因素重要程度判断的中值
倒数	若 $i$ 因素与 $j$ 因素重要程度相比为 $a_{ij}$ , 则 $j$ 因素与 $i$ 因素相比为 $1/a$

根据比较矩阵,由方根法计算各因素的权重并进行一致性检验

$$w_i = \frac{(\prod_{i=1}^n a_{ij})^{\frac{1}{n}}}{\sum_{j=1}^n (\prod_{i=1}^n a_{ij})^{\frac{1}{n}}}, j=1,2,\cdots,m \tag{1}$$

式中: $a_{ij}$  为  $i$  因素与  $j$  因素重要程度对比标度值。

至此,对于公路工程总承包项目,通过专家咨询法和层次分析法分别得到各个评价指标的主观权重值  $w_1$  和  $w_2$ ,而  $w_1$  和  $w_2$  均为后续组合赋权的主观权重基础数据。

3.3 客观赋权

客观赋权法是通过建立一定的数学模型,以各指标指数的定量分析为基础得出权重系数的方法,常用的方法有主成分分析法、熵权法、均方差法以及最小隶属度加权平均法等<sup>[10-12]</sup>。公路工程总承包项目的选择评价,是以综合最优解作为决策目标,因此在客观赋权法的选择上,以最接近最优解为目标的最小隶属度加权平均法和均方差法作为客观权重的确定方法。

设有  $n$  个备选方案,组成方案集: $A=A_1,A_2,\cdots,A_n$ ,每个方案需要考虑  $m$  个指标,组成指标集: $B=B_1,B_2,\cdots,B_m$ , $i$  方案对  $j$  指标的属性值记为  $x_{ij}$ ,由属性值构成的矩阵  $\mathbf{X}=(x_{ij})_{nm}$  为该评价的决策矩阵。

由于指标性质不同,各评价指标原始数据的数量级和量纲可能存在差异,因此对不同性质的指标分别按式(2)、式(3)对原始数据进行量纲一处理。

对于效益型指标,处理公式为

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad i=1,2,3,\cdots,n$$
$$j=1,2,3,\cdots,m \tag{2}$$

对于成本型指标,处理公式为

$$y_{ij} = \frac{x_j^{\max} - x_{ij}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \tag{3}$$

式中: $x_{ij}$  为  $i$  方案  $j$  目标对应的指标值; $x_j^{\max}$ 、 $x_j^{\min}$  分别为  $j$  指标的最大和最小值。

量纲一处理后的原始指标值  $x_{ij}$  转化为量纲一值  $y_{ij}$ , $y_{ij} \in [0,1]$ ,决策矩阵  $\mathbf{X}$  变为决策矩阵  $\mathbf{Y}$ 。

$$\mathbf{Y} = (y_{ij})_{nm} = \begin{bmatrix} y_{11} & \cdots & y_{1m} \\ \vdots & & \vdots \\ y_{m1} & \cdots & a_{mm} \end{bmatrix}$$

3.3.1 最小隶属度加权平均偏差法

设理想方案为  $\mathbf{G}=\{g_1,g_2,\cdots,g_m\}^T$ ,其中  $g_i=\max(y_{1i},y_{2i},\cdots,y_{mi})$ ;  $i=1,2,\cdots,m$ 。设各指标的客观权重  $\mathbf{W}=\omega_1,\omega_2,\cdots,\omega_m$ ,且  $\omega_j \geq 0$ ;  $\sum_{j=1}^m \omega_j^2=1$ 。

第  $i$  方案与理想方案之间的偏差越小越好,可

构造如下目标决策函数

$$\min(Z) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m w_j (g_i - y_{ij}) \quad (4)$$

解式(4),最优解经过规范化处理得

$$w_j = \frac{\sum_{i=1}^n (g_i - y_{ij})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (g_i - y_{ij})} \quad (5)$$

式中: $g_i$  为理想方案的最优解。

### 3.3.2 均方差法

设评价体系中各指标的客观权重为  $W = w_1$ ,

$w_2, \dots, w_m$ , 且  $w_j \geq 0$ ;  $\sum_{j=1}^m w_j^2 = 1$ 。

方差为

$$\sigma(B_j) = \sqrt{\sum_{i=1}^n [y_{ij} - E(B_j)]^2} \quad (6)$$

权重的计算式为

$$w_j = \frac{\sigma(B_j)}{\sum_{j=1}^m \sigma(B_j)} \quad (7)$$

式中: $E(B_j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{ij}$ ,  $y_{ij}$  为  $i$  方案第  $j$  个指标值,

$w_j$  为第  $j$  个指标的权重。

至此,对于公路工程总承包项目,通过最小隶属度加权平均法和均方差法分别得到各个评价指标的客观权重值  $w_3$  和  $w_4$ ,而  $w_3$  和  $w_4$  均为后续组合赋权的客观权重基础数据。

### 3.4 各种赋权方法一致性的检验

以客观赋权法和主观赋权法的赋权结果为基础,对评价指标进行组合赋权是一种更综合、更全面的权值确定方法。基于灰色关联度理论的组合赋权对样本容量没有要求且量化结果和定性分析结果一致性程度高,因此在众多数学、经济学评价模型中得到广泛的应用。但统计学研究发现,如果各个赋权方法得到赋权结果排序位次排列一致时,该方法并不适用,计算结果与实际相差较大,而以往的研究者采用这种组合赋权方法时往往忽略了对各种赋权方法排序位次一致性的检验<sup>[13]</sup>。采用 Kendall 一致性系数对排序位次一致性进行检验,并根据检验结果对组合赋权方法进行选择,可以有效规避由于排序位次的一致性引起的评价结果的偏差,实现灰色关联度组合赋权法的优化改进。

采用 Kendall 一致性系数,对上述 4 种赋权方法的结果进行一致性检验,具体方法如下所述。

(1)对上述赋权方法的赋权结果进行位次排列,列出位次排列矩阵。

设有  $p$  种赋权方法, $m$  个决策目标,第  $i$  种赋权

方法对目标  $j$  的权重为  $w_{ij}$ ,以第  $i$  种方法为例,对其权重按照从大到小进行排序,并依次确定其位次值  $c_{ij}$ ,按照排位顺序依次记为  $1, 2, 3, \dots, m$ 。由各种赋权方法的各个决策目标位次值确定的位次矩阵为

$$C = (c_{ij})_{pm} = \begin{bmatrix} c_{11} & \cdots & c_{1m} \\ \vdots & & \vdots \\ c_{p1} & \cdots & c_{pm} \end{bmatrix} \quad (8)$$

(2)对各种赋权方法赋权结果的一致性进行假设检验。

假设: $H_0$ :各种赋权方法的赋权结果具有一致性; $H_1$ :各种赋权方法的赋权结果不具有 consistency。

当决策目标数  $m \leq 7$  时,检验统计量为

$$S = \sum_{j=1}^m c_j^2 - \frac{1}{m} \left( \sum_{j=1}^m c_{ij} \right)^2 \quad (9)$$

式中: $S$  为 Kendall 一致性系数。

$$c_j = \sum_{i=1}^p c_{ij}$$

给定的假设检验水平  $\alpha$ ,查 Kendall 一致性系数临界值表得到临界值  $S_\alpha$ ,当  $S \leq S_\alpha$  时,接受  $H_0$ ;反之,接受  $H_1$ 。

当决策目标数  $m > 7$  时,检验统计量为

$$\chi^2 = p(m-1)T, \text{ 自由度为 } m-1 \quad (10)$$

式中: $T = \frac{12 \sum_{j=1}^m c_j^2}{p^2(m^3-m)} - \frac{3(m+1)}{m-1}$ ,给定假设检验水平  $\alpha$ ,查  $\chi^2$  分布表得临界值  $\chi_{\alpha/2}^2(m-1)$ ,当  $\chi^2 \leq \chi_{\alpha/2}^2(m-1)$  时,接受  $H_0$ ;反之,则接受  $H_1$ 。

### 3.5 组合赋权方法的选择

对 Kendall 一致性进行检验之后,选择合理的组合赋权方法获得合理的组合赋权结果是目的。若接受  $H_0$ ,即表明上述 4 种主、客观赋权法得到的赋权结果具有一致性,则在组合赋权计算时可直接采用算术平均法,既保证组合结果与主客观赋权结果的一致性,同时计算结果过程简单,结果易得。若拒绝  $H_0$ ,接受  $H_1$ ,即主客观赋权结果不具备一致性,则采用灰色关联度组合赋权法,虽计算过程复杂但组合赋权的计算结果更为准确。

#### 3.5.1 算数平均法组合赋权

经 Kendall 一致性检验后,各赋权方法的赋权结果具有一致性,即各种方法的赋权结果相差不大,采用算数平均法即可得到合理的组合赋权结果,即

$$w_j = \frac{1}{p} w_{ij} \quad (11)$$

式中: $w_{ij}$  为第  $i$  种赋权方法第  $j$  个指标的权值;组合权重  $\theta = \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m = w_1, w_2, \dots, w_m$ 。

3.5.2 基于灰色关联度理论的组合赋权方法

经 Kendall 一致性检验后,各赋权方法不具备一致性,则满足灰色关联度理论的前提条件,采用基于灰色相关度的组合赋权法。计算步骤如下所示<sup>[14-18]</sup>。

(1)计算灰色关联度。灰色关联度是检测各种赋权方法之间的相关程度的指标,是组合赋权的基础。灰色关联度的计算公式为

$$\sigma_{ij}(k)=\frac{(\min_i\min_kw_{ik}^0-w_{jk}^0+\rho\max_i\max_kw_{ik}^0-w_{jk}^0)}{w_{ik}^0-w_{jk}^0+\rho\max_i\max_kw_{ik}^0w_{jk}^0}$$

(12)

式中: $\sigma_{ij}(k)$ 为对  $k$  个指标采用第  $i$  种赋权方法和第  $j$  种赋权方法得到指标权重值之间的相关系数; $\rho$  为分辨系数,与相关系数呈正比例关系,一般取 0.5; $w_{ik}^0$  为第  $i$  种方法得到的第  $k$  个指标的权重值; $w_{jk}^0$  为第  $j$  种方法得到的第  $k$  个指标的权重值。

$\sigma_{ij}$  表示第  $i$  种方法与第  $k$  种方法之间的关联度,由式(13)确定

$$\sigma_{ij}=\frac{1}{m}\sum_{k=1}^m\sigma_{ij}(k)$$

(13)

(2)寻找所有赋权方法中一致性相对最高的赋权方法。找出上一步所计算的灰色关联度  $\sigma_{ij}$  的最大值  $\sigma_w$ ,并比较  $u$ 、 $v$  两种方法与其他方法关联度的大小,并依次进行排序,选出较大者,假设为方法  $v$ ,则方法  $v$  即为所有赋权方法中一致性相对最高的赋权方法。则其他方法与方法  $v$  的灰色关联度构成向量  $\sigma_v=(\sigma_{1v},\sigma_{2v},\cdots,\sigma_{iv})$ 。

(3)将  $\sigma_v$  按照式(14)进行归一化处理,可以得到权向量  $w_i=w_1,w_2,\cdots,w_m$ ,其中

$$w_i=\frac{\sigma_{iv}}{\sum_{i=1}^m\sigma_{iv}},i=1,2,\cdots,m$$

(14)

(4)利用式(11)计算出组合权重  $\theta$

$$\theta=\theta_1,\theta_2,\cdots,\theta_m=$$

$$(\omega_1,\omega_2,\cdots,\omega_m)\begin{bmatrix}w_{11}^0&w_{12}^0&\cdots&w_{1m}^0\\w_{21}^0&w_{22}^0&\cdots&w_{2m}^0\\\vdots&\vdots&&\vdots\\w_{i1}^0&w_{i2}^0&\cdots&w_{im}^0\end{bmatrix}$$

(15)

至此,通过组合赋权法实现了主客观赋权法的有机组合,克服了单一赋权法的不足,同时满足了评价体系模型的准确性和实用性,为公路工程总承包项目的选择评价决策提供了合理的组合权重值。

3.6 评价准则

最终的评价矩阵  $R$  由正规矩阵  $Y$  与综合向量  $\theta$

相乘后得到

$$R=(r_{ij})_{nm}=(\theta_1,\theta_2,\cdots,\theta_m)\begin{bmatrix}y_{11}&\cdots&y_{1m}\\\vdots&&\vdots\\y_{n1}&\cdots&y_{nm}\end{bmatrix}$$

(16)

在整个评价过程中,上一级评价指标的评分值由下一级评价指标决定,利用该评价模型根据各级评级指标的分值最终确定待选择公路工程总承包项目的总体评分,最终评价结果由一级指标分值与权重相乘并相加得到。若为多项目选择评价,则应根据评分为待选择项目排序,决定项目选择的优先次序,并对照项目选择评语集判定项目等级,进行投标决策。若为单一项目投标评价,则按上述方法得到评价分数后,对应项目整体评语集决定是否投标。

4 公路工程总承包项目选择评价实例

以多项目选择决策为例,假设某总承包单位获知 A、B、C、D4 个公路工程总承包项目的招标信息,采用组合赋权法对该项目进行评价,并根据评价结果进行项目选择。以一级指标建设单位条件为例,对本文所建立的选择评价模型加以举例说明。分别采用专家打分法,对 4 个备选项目的“建设单位条件”的 6 个二级指标进行打分,结果如表 4 所示。

表 4 建设单位条件的二级指标评分值

Tab. 4 Secondary index score values of the construction unit condition

建设单位条件	商业声誉	处理争端能力	招标公平性	按期支付能力	索赔难易程度	以往合作经验
项目 A	87	79	91	81	83	85
项目 B	73	81	85	71	95	77
项目 C	55	70	80	75	78	85
项目 D	65	70	65	74	82	95

由表 4 可得到决策矩阵  $X$

$$X=\begin{bmatrix}87&79&91&81&83&85\\73&81&85&71&95&77\\55&70&80&75&78&85\\65&70&65&74&82&95\end{bmatrix}$$

表 4 所示指标均为效益性指标,按照式(2)正规化处理,得到正规化矩阵  $Y$

$$Y=\begin{bmatrix}0.800&0.600&0.900&0.650&0.700&0.750\\0.450&0.650&0.750&0.400&1.000&0.550\\0.000&0.375&0.625&0.500&0.575&0.750\\0.250&0.375&0.250&0.475&0.675&1.000\end{bmatrix}$$

按专家经验法得到的主观赋权为: $w_1=(0.100,0.150,0.150,0.250,0.250,0.100)$ 。);按层次分析

法所得的主观赋权为： $w_2=(0.138,0.164,0.164,0.198,0.198,0.138)$ ；按最小隶属度加权平均偏差法可得客观权重： $w_3=(0.276,0.205,0.144,0.208,0.090,0.077)$ ；按均方差法可得客观权重为： $w_4=(0.419,0.127,0.283,0.026,0.072,0.073)$ 。

对上述 4 种赋权方法进行 Kendall 一致性检验， $m=6$ ，用式(9)计算得一致性系数  $S>1$ ，故  $S\geq S_e$ ，因此拒绝  $H_0$ ，即各种赋权方法不具备一致性，组合权重的计算方法确定为灰色关联度法。

按基于灰色关联的组合赋权法计算可得方法 3，即最小隶属度加权平均偏差法在以上 4 种方法中为一致性相对最高的赋权方法。通过计算得组合权重  $\theta=(0.226,0.166,0.176,0.179,0.150,0.103)$ 。

将组合权重与决策矩阵  $X$  相乘得到评价矩阵  $R=(84.496,79.794,72.010,73.081)$ 。结合评语集，由计算结果可得在该实例中，A、B、C、D 这 4 个项目的一级指标建设单位条件的评语分别为：良、良、中、中。

同样的，根据专家对三级指标的打分结果，分别对 A、B、C、D 这 4 个待选项目的项目条件、建设单位条件、总承包单位条件、外部环境、项目后续影响以及项目创新 6 个一级指标分别逐层评价得到的评分结果，如表 5 所示。

表 5 一级指标的评分结果  
Tab. 5 Primary index score results

项目	项目条件	建设单位条件	总承包单位条件	外部环境	项目后续影响力	项目创新
A	86.332	84.496	88.743	73.645	84.250	80.543
B	65.735	79.794	85.663	78.660	89.754	81.706
C	80.034	72.013	80.054	80.354	64.387	74.364
D	60.875	73.081	82.247	75.335	70.843	88.560

最终 A、B、C、D 这 4 个项目的选择评价结果如表 6 所示。

表 6 最终选择评价结果  
Tab. 6 Final selection evaluation result

项目	A	B	C	D
评分	85.200	79.086	76.843	66.774
评语	推荐选择	可选择	可选择	不推荐选择

综合上述评价结果，显然总承包商应优先选择项目 A。

5 结 语

(1)根据公路工程总承包项目的特点，从项目条件、建设单位条件、总承包单位条件、外部环境、项目后续影响力和项目创新 6 个方面，建立了公路工程

总承包项目选择评价三级指标体系，并对各级指标的内涵进行详细的分析和阐释，为总承包项目选择评价提供了合理的依据。

(2)针对公路工程总承包项目选择评价指标体系，结合主、客观赋权法，建立了以 Kendall 一致性检验为前提，基于灰色关联度理论的组合赋权评价模型。建议采用专家咨询法和层次分析法对各评价指标进行主观赋权，采用最小隶属度加权平均偏差法和均方差法进行客观赋权，利用 Kendall 一致性检验结果选择组合赋权方法计算组合权重，利用评价矩阵  $R$  获得评价指标的分值，参照评语集进行项目决策。

(3)该选择评价体系模型利用 Kendall 一致性检验结果对灰色关联度组合赋权方法进行进一步的优化，规避了其不适用情况。同时，该评价模型不仅可以模拟单一项目的投标决策，同样适用于多项目选择评价，为公路工程总承包商在不同的选择模式下提供评价依据。

(4)通过公路工程总承包项目的选择案例，运用所建立的评价体系模型对各个评价指标进行了评价模拟。结果表明，该评价模型，避免了单一赋权法的缺点，可以方便、快捷、准确地对总承包项目进行选择决策。

(5)在灰色关联度计算时，由于缺乏相关数据，分辨系数选用了一般经验值 0.5。由于分辨系数值和对应的关联度计算值呈现正比例关系，实际上分辨系数也是影响评价结果准确性的因素之一。因此，在今后的研究中，分辨系数的选取应结合公路工程总承包项目的实际情况，在  $[0,1]$  内取最切合的值。

(6)本文所构建的选择评价体系以及搭建的逻辑链条不仅是当前总承包商进行公路工程总承包项目选择评价的有力工具，更是公路工程总承包项目决策知识系统的初步搜索，以此为基础的公路工程总承包项目决策软件的开发和使用将成为可能。

参考文献：  
References:

[ 1 ] 全延申. 浅议工程总承包的方式及特点[J]. 工程总承包, 2005(4):1-4.  
TONG Yan-shen. Discussion on the engineering general contract mode and characteristics [J]. General Project Contracting, 2005 (4):1-4. (in Chinese)  
[ 2 ] 魏承坚. 对发展工程总承包若干问题的思考[J]. 福建建筑, 2007, 105(3):82-84.  
WEI Cheng-jian. Consideration of the issues in development of general contract project[J]. Fujian Building,



- 2007,105(3):82-84. (in Chinese)
- [3] 王早生,符曜伟,逢宗展.关于当前工程总承包工作的调研报告[J]. 建筑经济,2004,(8):5-8.  
WANG Zao-sheng, FU Yao-wei, FENG Zong-zhan. Research report on the current general contracting work[J]. Construction Economy, 2004 (8):5-8. (in Chinese)
- [4] 崔东红,尚思彤.灰色关联模型在投标前期决策中的应用[J]. 沈阳工业大学学报:社会科学版,2012,5(2):149-154.  
CUI Dong-hong, SHANG Si-tong. Grey correlation model in the pre-bid decision-making applications[J]. Journal of Shenyang University of Technology: Social Science Edition, 2012, 5 (2):149-154. (in Chinese)
- [5] 朱建国,王朝辉.高速公路建设精细化管理效果评价体系[J]. 长安大学学报:自然科学版,2012,32(2):52-57.  
ZHU Jian-guo, WANG Chao-hui. Effect evaluation system of the highway construction of fine management[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2012, 32(2):52-57. (in Chinese)
- [6] 王朝辉,王选仓.灰色关联度组合赋权在道路养护优化中的应用[J]. 河北工业大学学报,2006,35(6):106-110.  
WANG Chao-hui, WANG Xuan-cang. The application of the grey correlation degree combination empowerment in road maintenance optimization[J]. Journal of Hebei University of Technology, 2006, 35 (6): 106-110. (in Chinese)
- [7] 郑有敬.超大型工程建设项目评价[M]. 北京:社会科学文献出版社,1994.  
ZHENG You-jing. Evaluation of ultra large construction project [M]. Beijing: Social Sciences Academic Press, 1994. (in Chinese)
- [8] 吴涛.中国工程项目管理知识体系[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2003.  
WU Tao. Chinese project management knowledge system [M]. Beijing: China Architecture Industry Press, 2003. (in Chinese)
- [9] 陈春花,叶飞.基于多项目目标决策的综合客观赋权方法研究[J]. 甘肃科学学报,2001,13(2):83-87.  
CHEN Chun-hua, YE Fei. The research of comprehensive weight method based on multiple project objectives. [J]. Journal of Gansu Science, 2001, 13 (2): 83-87. (in Chinese)
- [10] Wang Y M, Luo Y. Integration of correlation with standard deviations for determining attribute weights in multiple attribute decision making[J]. Mathematical and Computer Modeling, 2010, 51(1/2):1-12.
- [11] 郭金玉,张忠彬,孙庆云.层次分析法的研究与应用[J]. 中国安全科学学报,2008,18(5):148-153.  
GUO Jin-yu, ZHANG Zhong-bin, SUN Qing-yun. Research and application of analytic hierarchy process [J]. Journal of China Safety Science, 2008, 18 (5): 148-153. (in Chinese)
- [12] 徐泽水.多属性决策的组合赋权方法研究[J]. 中国管理科学,2002,10(2):84-87.  
XU Ze-shui. Study of combination weighting method [J]. China Management Science, 2002, 10 (2): 84-87. (in Chinese)
- [13] 郑震宇.灰色系统分析存在的两个基本问题[J]. 系统工程理论与实践,2000(9):123-124.  
ZHENG Zhen-yu. Two basic problems of the grey system analysis [J]. Journal of System Engineering Theory and Practice, 2000(9):123-124. (in Chinese)
- [14] 杨波,陈旭,胡长明.多目标灰色决策在建筑工程投资方案选择中的应用[J]. 西安建大科技,2005,61(1):15-21.  
YANG Bo, CHEN Xu, HU Chang-ming. Multi-objective grey decision on the application of the construction project investment plan selection[J]. Journal of Xi'an Technology, 2005, 61(1):15-21. (in Chinese)
- [15] 周斌.由灰色关联度确定权重的客观多目标决策法[J]. 昆明理工大学学报:理工版,2003,10(5):159-161.  
ZHOU Bin. By the grey correlation degree to determine the weights of the objective of multi-objective decision method [J]. Journal of Kunming University of Science and Technology: Science and Technology, 2003, 10(5):159-161. (in Chinese)
- [16] 邓聚龙.灰理论基础[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2002.  
DENG Ju-long. Gray theory [M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2002. (in Chinese)
- [17] 宋久鹏,董大伟,高国安.基于层次分析法和灰色关联度的方案决策模型研究[J]. 西南交通大学学报,2002,8(4):463-466.  
SONG Jiu-peng, DONG Da-wei, GAO Guo-an. Decision making model based on analytic hierarchy process and grey correlation study[J]. Journal of Southwest Jiaotong University. 2002, 8(4):463-466. (in Chinese)
- [18] Fu C, Yang S L. An attribute weight based feed-back model for multiple attributive group decision analysis problems with group consensus requirements in evidential reasoning[J]. European Journal of Operational Research, 2011, 212(1):179-189.