

引用本文:陈 霄,侯 波,胡 雷,等. 钢板组合梁桥预算定额幅度差系数研究[J]. 建筑科学与工程学报,2022,39(2):128-134.

CHEN Xiao, HOU Bo, HU Lei, et al. Calculating Method for Amplitude Difference Coefficient of Budget Quota for Steel Plate Composite Beam Bridges[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2022, 39(2): 128-134.

DOI:10.19815/j.jace.2021.11054

## 钢板组合梁桥预算定额幅度差系数研究

陈 霄<sup>1</sup>, 侯 波<sup>2</sup>, 胡 雷<sup>2</sup>, 刘永健<sup>1</sup>, 史小丽<sup>1</sup>, 陆力伟<sup>1</sup>

(1. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064; 2. 陕西省交通运输工程造价事务中心, 陕西 西安 710075)

**摘要:**为填补中国公路工程领域相关预算定额研究的空白,为钢板组合梁桥的技术经济性分析提供研究基础并进一步推广该桥型,对钢板组合梁桥的预算定额编制方法展开研究。采用工作分解结构(WBS)分析法对钢板组合梁桥钢主梁加工制作工序进行划分,结合文献研究和依托工程确定了预算定额的定额单位、工程内容、定额子目等基本信息;制订了综合技术测定法与比较类推法的施工定额编制方法,并对 3 家钢结构企业进行实地调研,现场测定了人工、材料、机械消耗项目与消耗量;引入美国工程管理界效率系数的概念,确定了钢板组合梁桥预算定额幅度差系数极值区间为[1.23, 1.75];通过对比已有统计数据并进行差异分析,验证了该幅度差系数取值范围的合理性;根据层次分析法搭建了幅度差系数层次模型,并且通过构造判断矩阵及进行重要性评分确定了幅度差系数理论影响因素在具体工程下的相对权重,最终确定了机械幅度差系数取值为 1.45,人工幅度差系数取值为 1.33。结果表明:该研究完善了钢板组合梁桥预算定额编制方法。

**关键词:**桥梁工程;钢板组合梁;施工定额测定;预算定额编制;幅度差系数;层次分析法

中图分类号:U445.2

文献标志码:A

文章编号:1673-2049(2022)02-0128-07

## Calculating Method for Amplitude Difference Coefficient of Budget Quota for Steel Plate Composite Beam Bridges

CHEN Xiao<sup>1</sup>, HOU Bo<sup>2</sup>, HU Lei<sup>2</sup>, LIU Yong-jian<sup>1</sup>, SHI Xiao-li<sup>1</sup>, LU Li-wei<sup>1</sup>

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

2. Shaanxi Transportation Engineering Cost Affairs Center, Xi'an 710075, Shaanxi, China)

**Abstract:** In order to fill the gap of budget quotas in the field of China highway engineering, provide a research basis for the technical and economic analysis of steel plate composite beam bridges, and further promote this bridge, the compilation method of budget quota of steel plate composite beam bridge was studied. The manufacturing process of steel beam of steel plate composite beam bridge was divided by using work breakdown structure (WBS) analysis method. Combining the literature research and support project, the basic information such as quota unit, project content, and quota sub-items of the budget quota were determined. The compilation method of construction quota was devised by integrating technical measurement method and comparative analogy method, and the field investigation was carried out on three steel structure

收稿日期:2021-11-12

基金项目:陕西省交通运输厅交通科研项目(19-13K)

作者简介:陈 霄(1998-),女,陕西西安人,工学硕士研究生,E-mail:chdcherish@163.com。

通信作者:刘永健(1966-),男,江西玉山人,教授,博士研究生导师,工学博士,E-mail:lyj\_chd@gmail.com。

enterprises to determine the consumption items and consumption of labor, materials, and machinery. Introducing the concept of efficiency coefficient of American engineering management, it was determined that the specific value range amplitude difference coefficient was [1.23,1.75]. By comparing with the existing statistical data and analyzing the difference, the rationality of the value range of the amplitude difference coefficient was verified. According to the analytic hierarchy process, the hierarchical model of the amplitude difference coefficient was established, and the relative weight of the theoretical influencing factors of the amplitude difference coefficient under the specific project was determined by constructing the judgment matrix and scoring the importance. Finally, it was determined that the value of the mechanical amplitude difference coefficient was 1.45, and the value of the manual amplitude difference coefficient was 1.33. The results show that the study improves the budget quota preparation method of steel plate composite beam bridge.

**Key words:** bridge engineering; steel plate composite beam bridge; measurement of construction quota; compiling of budget quota; amplitude difference coefficient; analytic hierarchy process

## 0 引言

钢板组合梁桥是公路中小跨径桥梁中的代表性桥梁<sup>[1]</sup>,其力学性能研究已经较为成熟<sup>[2]</sup>;针对其技术经济性方面的研究仍主要围绕材料消耗量这一单一指标,实际施工过程中的人工、材料以及机械等消耗量作为不同桥型之间技术与经济性差异的具体体现,是其技术经济性研究的重点与基础。此外,定额作为节约社会劳动和提高生产效率的工具,对于基础设施工程建设的决策与管理有着重要的作用<sup>[3]</sup>。因此,展开钢板组合梁桥预算定额编制研究既能为相关工程提供计价依据,进一步推广该种桥型,也能为后续的技术经济性分析提供研究基础。钢板组合梁桥预算定额涉及钢或混凝土结构的加工制作、涂装、运输、安装、探伤等施工全过程,本文主要以钢板组合梁桥钢主梁加工制作为例,说明预算定额的编制过程。预算定额编制的难点及其精度的控制在于幅度差系数的确定,因此本文的研究将侧重于幅度差系数的确定方法。

## 1 预算定额基本信息确定

为科学合理地展开消耗量的测定,应对所测定的工程项目进行详实地了解。参考文献[4]~[10]的研究成果,并利用工作分解结构(Work Break-down Structure,WBS)分析法,将加工制作工序进行划分,如图 1 所示。此外,加工制作预算定额还涉及定额单位、定额子目以及工程内容的确定。施工定额的单位一般按工序或工作过程来确定;预算定额的计量单位应与相应工程项目内容相适应,便于

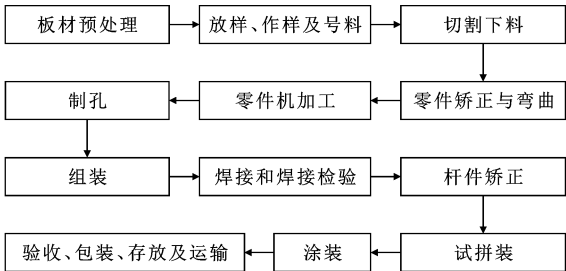


图 1 钢板组合梁桥钢主梁加工制作流程  
Fig. 1 Processing and Manufacturing Flow of Steel Beam of Steel Plate Composite Beam Bridge

计算工程量,以能反映分项工程最终产品形态和实物量、使用方便等为原则<sup>[11]</sup>,一般按照分部分项工程的形体和结构特征及其变化来确定。相较于传统混凝土结构在加工制作时经历了从液态到固态的变化过程,钢材在加工时形态固定、尺寸精确且全过程可追溯,因此确定加工制作预算定额的单位为吨。将施工定额的单位用于预算定额,减小了施工定额单位转换为预算定额单位时的工作量。定额子目以及工程内容参考相似定额与依托工程基本信息进行确定。依据中国建筑工程领域已有钢结构加工制作预算定额,将定额子目划分的主要因素确定为节段质量,并根据依托工程的节段划分方式确定编制定额的具体子目。

## 2 施工定额测定与编制

施工定额是建筑安装工人在合理的劳动组织下或工人小组在正常的施工条件下,为完成单位合格产品所需劳动、机械、材料消耗的数量标准。施工定额可以反映企业的施工水平、装备水平和管理水平,

是考核建筑安装企业劳动生产率水平、管理水平的标尺和确定工程成本及投标报价的依据,也是编制预算定额的基础<sup>[3,12]</sup>。

根据《公路工程施工定额测定与编制规程》(JTG/T 3811—2020)<sup>[13]</sup>第 3.4 节的规定并结合相关文献,制订了预算定额编制的基本思路:选用技术测定法进行现场测定,并选用比较类推法分析研究中国已有相关定额作为技术测定法的对照。下面简要介绍现场技术测定的工作流程。

为保证测定工作符合预算定额编制的基本原则,制订现场测定的工作步骤,如图 2 所示。按照施工定额的平均先进原则,选择可供调研的四川省天府新区的 A 钢结构企业、陕西省三原县的 B 钢结构企业、陕西省武功县的 C 钢结构企业以及广东省惠州市的 D 钢结构企业;排除了使用机器人工作站、全自动机械等处于行业内先进水平的 D 企业,重点针对 A、B、C 三家企业进行了现场技术测定。使用《公路工程施工定额测定与编制规程》附录中表 A.1.5.1、A.1.5.2 测定人工、材料、机械的消耗时间、工程量,以及对现场工作人员的工作水平评分等信息,并保证每一工序的消耗量现场测定次数满足精度要求。

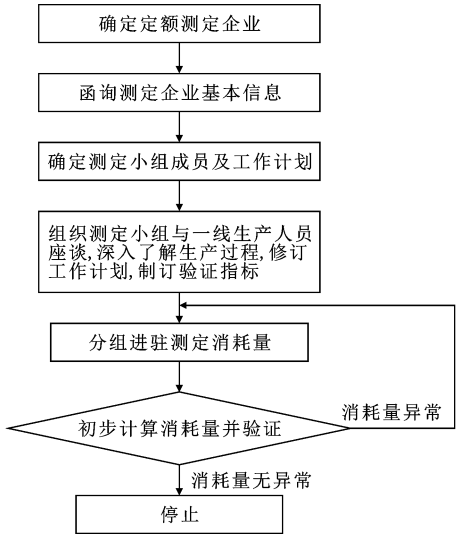


图 2 技术测定法工作流程

Fig. 2 Work Flow of Technical Determination Method

3 预算定额编制幅度差系数

3.1 幅度差系数定义

将施工定额综合为预算定额时,考虑到一些琐碎的工作难以一一计算,而且在施工中可能出现一些事先无法估计的工作以及影响效率的各种因素,因此人工工日和机械台班数应以施工定额综合后的

数量增加一定的百分数,增加的幅度与原数之比即为幅度差。现有幅度差、幅度差率以及幅度差系数 3 种不同的表述方式来量化施工定额综合为预算定额时增加的数量,计算方法见式(1)~(3)。公路工程预算定额编制时采用幅度差系数这一形式<sup>[2,9]</sup>。

$$A=B-C \tag{1}$$

$$R=A/C \tag{2}$$

$$F=1+R \tag{3}$$

式中:  $A$  为幅度差;  $B$  为预算定额值;  $C$  为施工定额值;  $R$  为幅度差率;  $F$  为幅度差系数。

文献[14]针对港珠澳大桥钢结构部分加工制作预算定额展开了研究,但对幅度差系数并未做进一步的研究。文献[3]、[12]、[15]、[16]通过层次分析法分析了路基工程、路面工程、桥涵工程等不同工程类别之间的相对权重,并与已有经验系数对比,得到了不同类别工程的幅度差系数。以钢板组合梁桥预算定额编制过程为例,仅该种桥型在加工制作、涂装、运输、探伤与安装等过程的工作条件以及施工组织水平具有较大差异,不同桥型之间的差异应更大,故笼统地确定桥梁工程这一大类别下的幅度差系数在具体项目中缺乏一定的可操作性。因此,本文在前人研究的理论基础上,开发出一套针对钢板组合梁桥加工制作幅度差系数的计算模型。

3.2 幅度差系数取值范围

《公路工程预算定额》(JTG/T 3832—2018)<sup>[17]</sup>中人工幅度差系数涉及了 8 项影响因素,机械幅度差系数共涉及了 9 项影响因素,如表 1 所示。

本文以机械幅度差系数为例,说明幅度差系数的计算过程。依据钢板组合梁桥加工制作的工艺特点以及现场调研的情况,分析各理论影响因素对幅度差系数影响程度的大小,按照强、较强、中等、较弱、弱 5 个等级划分。

中国钢板组合梁桥加工制作预算定额幅度差系数的相关研究暂未见报道。通过调研国内外文献,发现美国工程管理界使用的效率系数(Efficiency Factor)在定义上与幅度差系数相似,可作为确定幅度差系数的依据。文献[18]列举了式(4)及式(5)用以计算完成一定生产量所需的工作时间。

$$t=\frac{M}{e} \tag{4}$$

$$e=\frac{M_e H_p E_M}{H} \tag{5}$$

式中:  $t$  为工作时间;  $M$  为生产量;  $e$  为生产率;  $M_e$  为每循环生产量;  $H_p$  为每小时有效生产时间;  $E_M$  为

表 1 人工及机械幅度差系数影响因素

Table 1 Influence Factors of Manual and Mechanical Amplitude Difference Coefficient

序号	人工幅度差系数影响因素	机械幅度差系数影响因素
1	工序搭接及转移工作面的间断时间	正常施工组织情况下不可避免的机械空转、技术中断及合理停置时间
2	各工种交叉作业的相互影响	必要的备用台班数造成的闲置台班
3	工作开始及结束时由于放样交底及任务不饱满而影响产量	由于气候关系或排除故障影响台班的利用
4	配合机械施工及移动管线时发生的操作间歇	工地范围内机械转移的台班数及非自行式机械转移所需的运载牵引工具
5	检查质量及验收隐蔽工程时影响工时利用	配套机械相互影响所损失的时间及停车场至工作地点超定额运距所需的时间
6	因雨雪或其他原因需排除故障	施工初期限于条件所造成的效率差及结束时工程量不饱满所损失的时间
7	其他零星工作,如临时交通指挥、安全警戒、现场挖沟排水、修路、材料整理堆放、场地清扫等	因供电、供水故障及水电路线的移动检修而发生的运转中断
8	由于图纸或施工方法的差异需增加的工序及工作项目	不同厂牌机械的效率差、机械不配套造成的效率低
9		工程质量检查的影响

效率系数; $H$  为每循环时间。

效率系数的取值与工作水平及管理水平有关,取值如表 2 所示。管理水平主要包括:①工人的技巧、训练与动机水平;②机械的型号、操作与养护水平;③作业面布置、监管与合作性。

表 2 效率系数取值

Table 2 Values of Efficiency Coefficient

工作水平	管理水平			
	优秀	良好	一般	较差
优秀	0.84	0.81	0.76	0.70
良好	0.78	0.75	0.71	0.65
一般	0.72	0.69	0.65	0.60
较差	0.63	0.61	0.57	0.52

注:工作水平与加工材料的种类无关,主要包含地面及天气情况、地形及工程量、规范规定的施工方法或顺序。

《公路工程定额原理与估价》定义了施工定额机械台班产量定额的基本公式,其中机械台班产量定额的计算方法见式(6)。

$$D_C=dTK_B$$

(6)

式中: $D_C$  为施工定额中机械台班产量定额; $d$  为小时生产率; $T$  为一个工作班延续时间; $K_B$  为时间利用系数。

机械时间定额为产量定额的倒数,通过将其与式(4)、(5)对比,认为文献[18]定义下的预算定额机械台班消耗量是施工定额机械时间定额与效率系数倒数的乘积。虽然效率系数最先出现的文献时间久远,但文献[19]中仍在使用,历经时间的考验。因此,认为效率系数的倒数即为预算定额概念中的幅度差系数。为符合预算定额的平均原则,当出现表 2 中工作水平与管理水平皆为优或皆为差的评级时应当修正打分重新评级,由此得到幅度差系数极值构成区间为[1.23,1.75]。

3.3 幅度差系数取值范围验证

文献[20]基于模糊层次分析法将养护工程与新建工程进行比较,得出养护工程的人工幅度差系数较新建工程增加 23%,即新建工程幅度差系数与养护工程幅度差系数之间的差异率为 19%。

文献[15]根据国内各省区的养护工程预算定额及交通部征求意见稿的预算定额统计数据分析,得出养护工程幅度差系数极值构成的区间为[1.31,1.51]。而本文分析计算得到的钢板组合梁桥幅度差系数极值区间为[1.23,1.75]。作为新建工程,本文得到的幅度差系数区间与养护工程幅度差系数区间最大差异率为 16%。考虑到钢板组合梁桥与养护工程都具有作业连续、隐蔽性工程少的特点,因此 16%的差异率是可以接受的,本文所取得的幅度差系数区间具有一定的合理性。

3.4 幅度差系数取值的确定

只需确定代表平均水平的企业在工作与管理水平方面的评价等级,即可确定预算定额幅度差系数的取值。首先根据工作水平与管理水平的定义<sup>[18]</sup>,将机械幅度差系数的 9 个影响因素进行划分,结果见表 3。由此形成了幅度差系数在第一层次受工作/管理水平影响、在第二层次受具体影响因素影响的层次模型,如图 3 所示。为定量分析它们之间的关系,选用层次分析法<sup>[21-25]</sup>进行研究。层次分析法旨在解决多层次模型中最低层相对于最高层的相对权重问题<sup>[21-22]</sup>,因此构造判断矩阵是层次分析法的基础与重点,利用相对重要性评分法<sup>[23]</sup>得到的评分标度见表 4,构造最高层与中间层、中间层和最低层之间的判断矩阵,见表 5。判断矩阵的一致性检验利用 AHP 软件完成,并最终利用 AHP 软件计算得到影响因素层相对于幅度差系数层的相对权重,权重

表 3 机械幅度差系数的影响因素

Table 3 Influencing Factors of Mechanical Amplitude Difference Coefficient					
Difference Coefficient					
编号	理论影响因素	工艺特点或实际影响因素	影响程度	类别	权重
1	正常施工组织情况下不可避免的机械空转、技术中断及合理停滞时间	各工序有独立工作区域,依靠场内跨区吊运转移工作面	强	管理水平	0.300
2	必要的备用台班数造成的闲置台班数	下料、矫正等工序的备用台班	强	管理水平	0.300
3	由于排除故障影响台班的利用	工厂管理水平越高,排除故障原因所需的时间越少	中等	管理水平	0.068
4	工地范围内机械转移的台班数及非自行式机械转移时所需的运载牵引工具	工厂化程度较高,基本不需转移机械	弱	工作水平	0.017
5	配套机械相互影响所损失的时间及停车场至工作地点超定额运距所需的时间	只有 20 t 双梁式起重机与 10 t 半门式起重机相互影响	中等	管理水平	0.068
6	施工初期限于条件所造成的效率差及结尾时工程量不饱满所损失的时间。	加工初期等待吊运	中等	工作水平	0.106
7	因供电、供水故障及水电路线的移动检修而发生的运转中断	故障、检修导致的运转中段	较弱	管理水平	0.029
8	不同厂牌机械的效率差、机械不配套造成的效率低	不同厂牌机械的效率差	中等	管理水平	0.068
9	工程质量检查的影响	工程质量检查	较弱	工作水平	0.043

值见表 3。

机械幅度差系数管理水平影响因素各权重向量(0.3,0.3,0.068,0.068,0.029,0.068)之和为 0.833;机械幅度差工作水平影响因素各权重向量(0.017,0.016,0.043)之和为0.166。因此认为机械幅度差

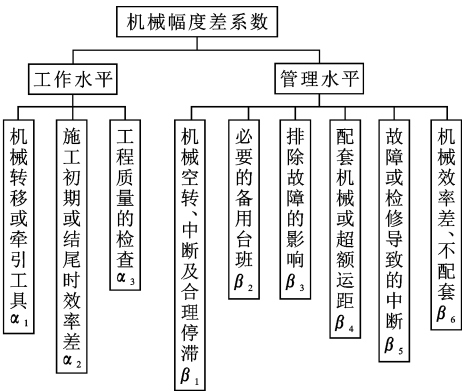


图 3 机械幅度差系数影响因素层次

Fig. 3 Hierarchy of Influencing Factors of Mechanical Amplitude Difference Coefficient

表 4 相对重要性评分标度

Table 4 Relative Importance Scale	
标度	含义
1	2 个因素相比,具有相同重要性
3	2 个因素相比,一个因素比另一个因素稍微重要
5	2 个因素相比,一个因素比另一个因素明显重要
7	2 个因素相比,一个因素比另一个因素强烈重要
9	2 个因素相比,一个因素比另一个因素极端重要
2,4,6,8	上述两相邻判断的中值

表 5 管理水平判断矩阵

Table 5 Management Level Judgment Matrix						
管理 水平	机械 空转	备用 台班	故障 排除	配套 机械	检修 中断	机械效 率差
机械空转	1	1	5	5	7	5
备用台班	1	1	5	5	7	5
故障排除	1/5	1/5	1	1	3	1
配套机械	1/5	1/5	1	1	3	1
检修中断	1/7	1/7	1/3	1/3	1	1/3
机械效率差	1/5	1/5	1	1	3	1

系数中管理水平的影响因素比重较大,是改进该工序的重要方向。

考虑到在实际评价当中工作水平与管理水平是相对独立的 2 个评价指标,因此将工作水平与管理水平 2 个评价指标下的影响因素权重等比例扩大为和为 1 的向量进行下一步评价。扩大后的权重为管理水平影响因素权重向量(0.36,0.36,0.08,0.08,0.03,0.08)和工作水平影响因素权重向量(0.10,0.64,0.26)。参考《公路工程施工定额测定与编制规程》中测定对象工作水平评分表,按照划分等级不变且每级总分不变的原则,将影响因素按照权重赋予分数,重新设定评价方式,结果见表 6、7。

最终得到钢主梁加工制作管理水平评分为77,

表 6 机械幅度差系数管理水平评价表

Table 6 Evaluation Table for Management Level of Mechanical Amplitude Difference Coefficient

等级	优	良	中	差	劣
正常施工组织情况下不可避免的机械空转、技术中断及合理停滞时间	33	28	25	21.5	18
必要的备用台班数造成的闲置台班数	33	28	25	21.5	18
由于排除故障影响台班的利用	7	7	6	5	4
配套机械相互影响所损失的时间及停车场至工作地点超定额运距所需的时间	7	7	6	5	4
因供电、供水故障及水电路线的移动检修而发生的运转中断	3	3	2	2	2
不同厂牌机械的效率差、机械不配套造成的效率低	7	7	6	5	4
总分	90	80	70	60	50

表 7 机械幅度差系数工作水平评价表

Table 7 Evaluation Table for Working Level of Mechanical Amplitude Difference Coefficient

等级	优	良	中	差	劣
工地范围内机械转移的台班数及非自行式机械转移时所需的运载牵引工具	9	8	7	6	5
施工初期限于条件所造成的效率差及结束时工程量不饱满所损失的时间	58	51	45	38	32
工程质量检查的影响	23	21	18	16	13
总分	90	80	70	60	50

工作水平评分为 68。因此认为管理水平评级为良好,工作水平为一般,加工制作机械幅度差系数为 1.45;同理,确定人工幅度差系数为 1.33。确定了幅度差系数后即可在前文研究的基础上确定预算定额的消耗量,最终完成预算定额的编制。

4 结 语

(1)本文以钢板组合梁桥钢主梁加工制作为例,说明了钢板组合梁桥预算定额的编制过程。

(2)引入美国工程管理界效率系数的概念,确定了钢板组合梁桥预算定额幅度差系数极值区间为 [1.23,1.75],验证了该范围的合理性。

(3)基于幅度差系数影响因素与实地技术测定经验,针对具体工序的工作水平与管理水平进行评价,确定了幅度差系数的计算模型,并确定了人工及机械幅度差系数分别为 1.33 及 1.45。

(4)下一步可针对定额水平进行研究,以验证编制定额水平的科学与合理性。

参考文献:  
References:

[ 1 ] 刘永健,高诣民,周绪红,等. 中小跨径钢-混凝土组合

梁桥技术经济性分析[J]. 中国公路学报,2017,30(3):1-13.

LIU Yong-jian,GAO Yi-min,ZHOU Xu-hong,et al. Technical and Economic Analysis in Steel-concrete Composite Girder Bridges with Small and Medium Span[J]. China Journal of Highway and Transport, 2017,30(3):1-13.

[ 2 ] 程观奇. 钢板组合梁桥设计参数适应性与技术经济性分析[D]. 西安:长安大学,2019.

CHENG Guan-qi. Analysis of Design Parameter Adaptability and Technical Economy of Steel Plate Composite Girder Bridge[D]. Xi'an:Chang'an University,2019.

[ 3 ] 孙 艺. 基于神经网络技术的公路工程补充定额的编制与研究[D]. 长沙:长沙理工大学,2011.

SUN Yi. Establishment and Research of Additional Quota for Highway Engineering Based on Artificial Neural Networks[D]. Changsha:Changsha University of Science & Technology,2011.

[ 4 ] 张 凯. 中小跨径钢板组合梁桥快速建造技术与应用研究[D]. 西安:长安大学,2016.

ZHANG Kai. Research on the Accelerated Construction Technology and the Application of Composite Steel Plate Girder Bridge with Medium-small Span [D]. Xi'an:Chang'an University,2016.

[ 5 ] 张琢芳. 基于美国标准图的钢板组合梁桥结构设计与规范对比[D]. 西安:长安大学,2018.

ZHANG Zhuan-fang. Structural Design and Specification Comparison of Steel Composite Plate Girder Based on Standard Drawings in American[D]. Xi'an: Chang'an University,2018.

[ 6 ] 张轩瑜. 双工字形钢-预制混凝土板组合梁桥静力性能研究[D]. 西安:长安大学,2019.

ZHANG Xuan-yu. Research on the Static Performance of Twin- I Steel-composite Girder Bridges with Precast Concrete Deck Panel [D]. Xi'an: Chang'an University,2019.

[ 7 ] KRAUSE S. Steel Bridge Design Handbook: Steel Bridge Fabrication [R]. Washington DC: Federal Highway Administration,2012.

[ 8 ] MELHEM H G,RODDIS W M K,NAGARAJA S, et al. Knowledge Acquisition and Engineering for Steel Bridge Fabrication[J]. Journal of Computing in Civil Engineering,1996,10(3):248-256.

[ 9 ] GARLICH M J,PECHILLO T H,SCHNEIDER J M,et al. Engineering for Structural Stability in Bridge Construction[R]. Washington DC: Federal Highway Administration,2015.

- [10] 周绪红,刘永健. 钢桥[M]. 北京:人民交通出版社,2020.  
ZHOU Xu-hong, LIU Yong-jian. Steel Bridges[M]. Beijing:China Communications Press,2020.
- [11] 石勇民. 公路工程定额原理与估价[M]. 北京:人民交通出版社,2004.  
SHI Yong-min. Quota Principle and Estimating of Highway Engineering[M]. Beijing:China Communications Press,2004.
- [12] 李 栋. 总体幅度差系数计算方法在公路预算定额编制过程中应用[D]. 长沙:长沙理工大学,2009.  
LI Dong. Calculation Method of Overall Magnitude Difference Coefficient Applied in the Process of the Road Budget Quota[D]. Changsha:Changsha University of Science & Technology,2009.
- [13] 公路工程施工定额测定与编制规程:JTG/T 3811—2020[S]. 北京:人民交通出版社,2020.  
Measurement and Compiling Methods of Construction Quota for Highway Engineering:JTG/T 3811—2020 [S]. Beijing:China Communications Press,2020.
- [14] 张永财,钟勇华,李婕妤. 港珠澳大桥钢结构工程加工预算补充定额研究[J]. 科技创新导报,2018,15(21):68-70.  
ZHANG Yong-cai,ZHONG Yong-hua,LI Jie-yu. Research on Supplementary Quota of Processing Budget for Steel Structure Engineering of Hong Kong-Zhu-hai-Macao Bridge[J]. Science and Technology Innovation Herald,2018,15(21):68-70.
- [15] 王首绪,李 栋,胡汉渝,等. 基于层次分析法的公路预算定额幅度差计算模型的设计与实现[J]. 中外公路,2009,29(1):260-263.  
WANG Shou-xu,LI Dong,HU Han-yu,et al. Design and Realization of Calculation Model of Highway Budget Quota Range Difference Based on Analytic Hierarchy Process[J]. Journal of China & Foreign Highway,2009,29(1):260-263.
- [16] 王首绪,陈海南,李 栋,等. 公路预算定额综合扩大系数区间拟定方法研究[J]. 长沙交通学院学报,2008,24(3):49-52.  
WANG Shou-xu,CHEN Hai-nan,LI Dong,et al. The Method for the Study of Synthetical Expansion Coefficient Interval About the Road Budget Quota[J]. Journal of Changsha Communications University,2008,24(3):49-52.
- [17] 公路工程预算定额:JTG/T 3832—2018[S]. 北京:人民交通出版社,2018.  
Measurement and Compiling Methods of Construction Quota for Highway Engineering:JTG/T 3832—2018 [S]. Beijing:China Communications Press,2018.
- [18] Headquarters Department of the Army. Utilization of Engineering Construction Equipment Volume B (TM 5-331B)[R]. Washington DC:Department of the Army,1968.
- [19] PEURIFOY R, OBERLENDER G. Estimating Construction Costs[R]. New York:McGraw-Hill,2014.
- [20] 滕伟玲. 高速公路养护工程预算定额及合理费用研究[D]. 西安:长安大学,2012.  
TENG Wei-ling. Study on the Budget Quota and Reasonable Expenses of Highway Maintenance Engineering[D]. Xi'an:Chang'an University,2012.
- [21] VAIDYA O S, KUMAR S. Analytic Hierarchy Process: An Overview of Applications[J]. European Journal of Operational Research,2006,169(1):1-29.
- [22] SAATY T L. Decision Making with the Analytic Hierarchy Process[J]. International Journal of Services Sciences,2008,1(1):83-98.
- [23] CHENG E W L, LI H. Analytic Hierarchy Process [J]. Measuring Business Excellence,2001,5(3):30-37.
- [24] SAATY R W. The Analytic Hierarchy Process — What It Is and How It Is Used[J]. Mathematical Modelling,1987,9(3/4/5):161-176.
- [25] SAATY T L. How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process[J]. European Journal of Operational Research,1990,48(1):9-26.