

# 集装箱码头装卸作业之成本控制

——基于时间驱动作业成本法分析

张琳, 丁一(博士), 林国龙(教授)

**【摘要】** 由于受到金融危机的影响,全球航运市场持续低迷,港口企业竞争的焦点逐步转移到全面的成本竞争。本文以时间驱动作业成本法为理论基础,提出全新的集装箱码头多阶段物流成本控制模型。以上海港某码头为例,通过计算该模型核心参数产能成本率及统计码头营运产能数据,得出三阶段装卸作业非增值作业成本率分别为44.03%、54.84%和55.55%,再利用回归支持向量机(SVR)对该码头某航线船舶装卸作业成本进行训练,调整算法参数使原始数据与预测数据间平方相关系数达到99.778%,并且结合回归函数对未靠泊班轮进行成本预测,为日后港口提高竞争力及制定客户策略提供依据。

**【关键词】** 集装箱码头; 时间驱动作业成本法; 产能成本率; 支持向量机

**【中图分类号】** F550.66

**【文献标识码】** A

**【文章编号】** 1004-0994(2016)15-0093-7

## 一、引言

随着经济全球化进程的加快,现代港口在国家社会发展占据了经济的枢纽地位。在我国,90%以上的外贸物流量要依靠集装箱运输实现。近年来,我国港口集装箱吞吐量已跃居世界第一位,成为全球最大集装箱运输国。自2008年遭遇国际金融危机重挫后,我国集装箱码头业处于缓慢回升的状态。因此,集装箱码头经营者力图改变以往的经营管理策略,从侧重于增加固定资产投资、建造新泊位、投放新设备的粗放型、外延式增长方式,向侧重于提高生产管理水平和控制成本、优化生产作业流程的精细化、内涵式增长方式转变。同时,各项数据显示,现代集装箱港口装卸能力已经趋于饱和,如何有效控制集装箱装卸成本,优化港口运营水平,已然成为当前港口管理决策工作的重点。

在国内以往传统的成本管理中,集装箱码头的成本控制模式比较单一,主要集中在财务成本管理上。由于该方法过于关注财务报表的需求,致使统计结果简单化,不能有效真实地反映出集装箱码头的成本变化及其原因,而且财务报表具有滞后性,从而又会导致集装箱码头的成本管理缺乏时效性。此外,传统的集装箱码头管控模式没有构建码头系统的成本体系,导致成本管理不能有效控制成本驱动因素,成本管理手段单一落后,缺乏技术支持,导致多数成本管理还停留在单纯的财务管理阶段。

1988年,哈佛大学的罗宾·库伯和罗伯特·卡普兰继承发

展了斯托布斯的思想,提出了以作业为基础的成本计算,又称作业成本法(ABC)。库伯认为:产品成本就是制造和运送产品所需全部作业成本的总和,成本计算的最基本对象是作业。随后,国内外许多学者相继将该方法广泛应用于各个研究领域。在集装箱港口成本控制方面,以“产品消耗作业,作业消耗资源”为概念的作业成本法被应用于码头装卸固定成本(单箱成本)的核算。但相关学者很快便发现,由于单箱成本是将港口整体成本平均地分摊到每一个作业集装箱中,难以体现港口不同作业环节的成本分配情况。在目前各国集装箱港口装卸能力趋于饱和的前提下,该方法不能行之有效地分析和控制集装箱港口装卸成本,因此需要探索一种新的思路来研究该问题。

为了克服传统作业成本法实施的难点,卡普兰和安德森在作业成本法的基础上,于2004年将其与“平衡记分卡”思想有机融合,创立了时间驱动作业成本法(TDABC)理论,综合性地提供了一个反映产品和服务生产、销售和客户关系管理的成本及其获利能力的精准模型。本文基于时间驱动作业成本法对集装箱港口装卸成本进行研究分析,从成本控制的角度探讨集装箱港口最优化生产实践的问题,并提出相关理论和方法的研究和操作方法。

## 二、从ABC到TDABC

20世纪以来,成本管理研究的主要问题就是核算间接成本费用,从20世纪初的传统分配方法到ABC,随着学者和从

**【基金项目】** 国家自然科学基金青年项目“集装箱港口多阶物流系统作业成本控制研究”(项目编号:71301101)

□ 业务与技术

业人员对ABC认识的深入,人们发现ABC不仅仅是一种改进了的成本计算方法,还能很好地管理成本和作业。ABC的理论基础是成本动因论,其认为间接成本的发生是由相应的各种作业引起的,因此,发生的成本与相关作业的量相关。通过分析成本产生相关的作业来确定产品或服务应该分摊的成本。ABC认为将资源成本转化成产品成本的媒介是作业,其核心思想是“产品消耗作业,作业消耗资源”。如图1所示,实线代表成本形成的过程,虚线代表资源消耗的过程,产品成本可以循着这个过程追溯到具体消耗的资源种类及数量。

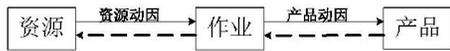


图1 作业在成本分配中的作用

然而,作业成本法在实践运用中所需投入的时间和耗费的成本成为其无法在大多数公司中得到广泛推行的主要障碍。卡普兰和安德森针对性地提出了时间驱动作业成本法,克服了作业成本法基于访谈和调查的费时、昂贵、不准确以及难以更新的缺点,放宽了作业成本法下的一个简单假设(即所有特定类型的订单或交易是相同的,制造时间也要保持一致),这不但大大降低了成本计算的工作量、简化了作业成本模型,而且加强了对闲置生产能力的管理,丰富完善了企业管理的内容。

时间驱动作业成本法是将传统作业成本法中的资源成本动因和作业成本动因进行统一,用时间作为统一的度量工具,以作业的单位时间产能成本(产能成本率)为过渡因子,对成本进行分摊。通过对作业产能成本率和作业单位时间的可靠估计,计算出作业的单位成本,进而计算出该项作业应分摊的成本。利用时间方程,自动将资源耗费分配给成本对象,成本的预估和分配更准确,更及时。TDABC下物流成本核算步骤如图2所示。

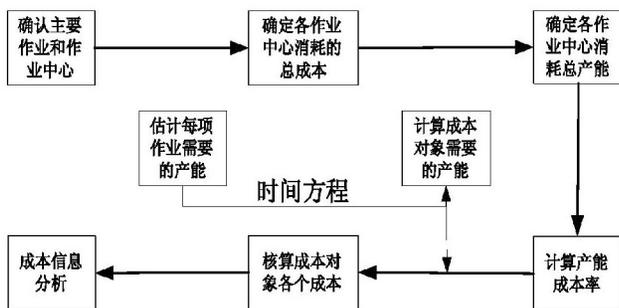


图2 基于TDABC的物流成本核算步骤

近年来,有许多国内外学者将TDABC运用在服务 and 物流行业中。在集装箱码头成本的控制中,相比传统作业成本法,TDABC自身优势体现在三方面:①能够提供更准确的成本信息;②更适合复杂动态的商业环境;③更能简单、有力地

进行盈利分析。在当今全球港口吞吐量趋于饱和的大环境下,港口企业迫切需要一种新模式、新方法对企业内外进行全方位、多层次的成本控制和盈利分析。

三、基于TDABC的装卸作业流程成本分析

集装箱港口作为国际航运的枢纽,外连国际海运航线,内连陆路、水路及航空运输。根据集装箱港口装卸作业流程和所用装卸作业资源,作业主要涉及以下三个阶段的装卸设备:海侧作业(岸边桥吊)、水平作业(集卡)、堆场作业(堆场机械)。

集装箱码头三阶段作业模式如图3所示。当集装箱船进入到指定泊位后,岸边桥吊便开始工作,岸桥首先移动到船上指定位置,将进口集装箱从船上吊起,再移动到指定位置,等待集卡。当集卡到达指定位置后,集装箱被岸桥卸载至集卡上,再由集卡运输到指定的堆场吊桥边。这时由堆场吊桥将集装箱吊起,移至堆场中指定位置。这样,就完成了—个集装箱卸载任务。对于装载集装箱,其操作顺序正好相反。

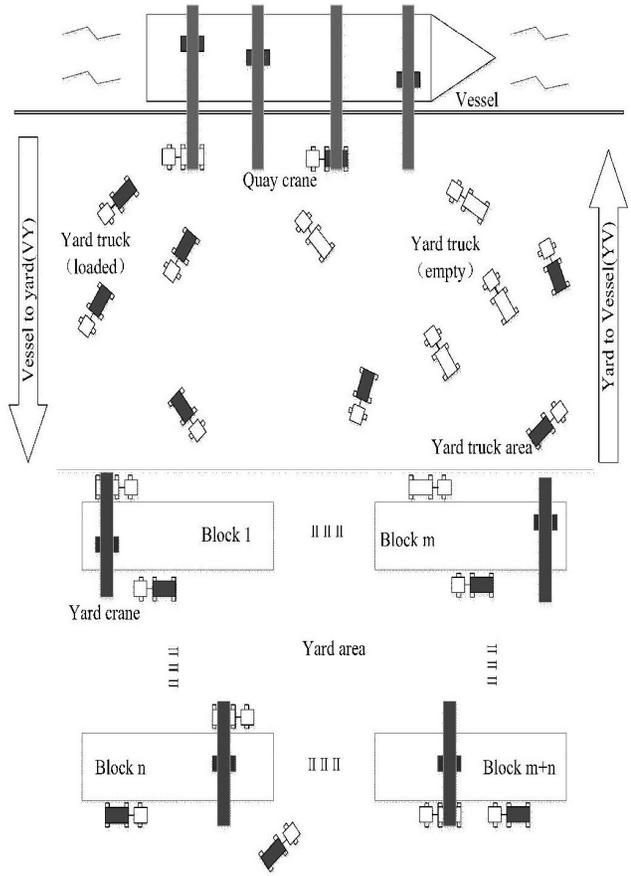


图3 集装箱码头三阶段作业模式

基于时间驱动作业成本法是利用时间方程自动将资源耗费分配给成本对象的作业成本方法。在集装箱码头装卸作业流程中,TDABC按如下步骤实施应用:①确定港口主要作业的产能成本率;②估计各装卸主作业对应的子作业所需要的产能,建立时间方程,确定该主作业所耗费的产能;③确定

各个装卸作业所分配的产能成本。下面将按这三个主要步骤来具体描述如何在集装箱码头建立 TDABC 成本模型。

1. 港口主要作业的产能成本率。港口主要作业的产能成本的计算是估时作业成本模型中一项主要的计算。在此使用产能成本率,即作业产能成本与实际产能之间的比率,从而将港口资源成本分配给海侧作业、水平作业和堆场作业。

$$\text{产能成本率}(C_i) = \frac{\text{产能成本}}{\text{实际产能}} \quad (1)$$

产能成本率的分子涵盖了与港口作业有关的一切费用,包括支付给集卡司机的工资、设备运行成本、维护成本以及其他设备成本。分母中的实际产能则表示可用生产能力,而没有采用理论生产能力。在集装箱港口中,装卸作业过程评估可用生产能力时应该去除机械故障维修和未使用的资源时,其目的是使闲置生产能力单独列示、单独核算,这既可以加强对闲置生产能力的管理,又能够符合产品成本的真实情况,还可以进一步分析作业的优化空间。具体产能成本率如图4所示。可知海侧作业、水平作业、堆场作业的产能成本率分别为  $C_{QC}$ 、 $C_{YT}$ 、 $C_{YC}$ 。

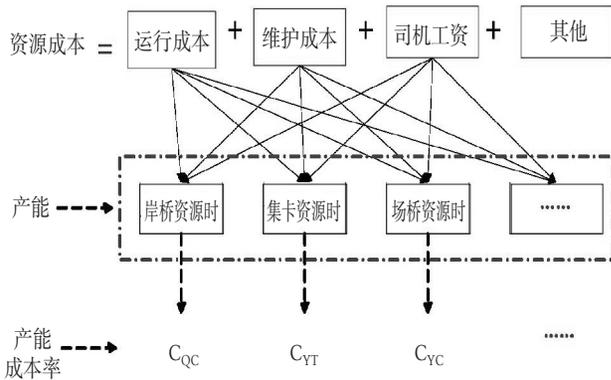


图4 产能成本率示意图

2. 建立时间方程。时间方程是时间驱动作业成本法的核心特点,它可以轻而易举地把不同业务类型所要求的时间差异融入成本模型之中。本文时间方程的数据均来自上海港某码头 TOS 系统。在基于 TDABC 的港口装卸作业成本模型中,管理人员不再为每一种可能出现的运输情况估计业务耗时,而是使用简单的时间方程即可估算出子作业资源的需要量。从数学角度结合港口装卸作业实务分析,时间方程可以写成下面的形式:

$$\text{港口装卸某作业所需时间}(T_{jk}) = \text{各个子作业所需时间之和} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_i X_i \quad (2)$$

其中,  $\beta_0$  表示一个平均的基准作业时间(如作业准备时间),  $\beta_i$  表示不同子作业需要的时间,作业数量根据不同的成本对象(产品)同关联作业箱量成正比,表示对于产品  $j$ (作业箱、船舶或船公司)的  $k$  类资源时耗费的时间。在港口装卸作业成本模型中,三阶段装卸作业的子作业如表1所示。

表1 QC、YT和YC子作业

QC子作业		YT子作业		YC子作业	
QC等待指令	$\beta_1$	YT等待作业指令	$\beta_5$	YC等待指令	$\beta_{18}$
QC移动时间	$\beta_2$	YT移动到取箱点1	$\beta_6$	YC移动时间	$\beta_{19}$
QC等待YT	$\beta_3$	YT在取箱点1等待	$\beta_7$	YC等待YT	$\beta_{20}$
QC作业时间	$\beta_4$	YT取箱点1装箱作业	$\beta_8$	YC作业时间	$\beta_{21}$
		YT移动到取箱点2	$\beta_9$		
		YT在取箱点2等待	$\beta_{10}$		
		YT取箱点2装箱作业	$\beta_{11}$		
		YT移动到交箱点1	$\beta_{12}$		
		YT在交箱点1等待	$\beta_{13}$		
		YT交箱点1卸箱作业	$\beta_{14}$		
		YT移动到交箱点2	$\beta_{15}$		
		YT在交箱点2等待	$\beta_{16}$		
		YT交箱点2卸箱作业	$\beta_{17}$		

港口三阶段装卸作业各阶段子作业耗时计算公式如下:

$$\text{海侧作业阶段: } T_{QC} = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 = \sum_{i=1}^4 \beta_i^{QC} x_i$$

$$\text{水平作业阶段: } T_{YT} = \beta_5 x_5 + \beta_6 x_6 + \beta_7 x_7 + \beta_8 x_8 + \beta_9 x_9 + \beta_{10} x_{10} + \beta_{11} x_{11} + \beta_{12} x_{12} + \beta_{13} x_{13} + \beta_{14} x_{14} + \beta_{15} x_{15} + \beta_{16} x_{16} + \beta_{17} x_{17} = \sum_{i=5}^{17} \beta_i^{YT} x_i$$

$$\text{堆场作业阶段: } T_{YC} = \beta_{18} x_{18} + \beta_{19} x_{19} + \beta_{20} x_{20} + \beta_{21} x_{21} = \sum_{i=18}^{21} \beta_i^{YC} x_i$$

由表1可以看出,港口装卸作业可以分为增值子作业和非增值子作业两种性质。分类判断标准如下:①子作业能够改变加工对象的状态;②加工对象的改变只能由该作业实现,不能由价值链中的前一项作业实现;③子作业使价值链中的其他作业能够继续执行。增值子作业同时具有以上3条特性;否则,就为非增值子作业。在港口装卸作业成本模型优化中,等待时非增值子作业如表2所示:

表2 QC、YT和YC非增值子作业

QC非增值子作业		YT非增值子作业		YC非增值子作业	
QC等待指令	$\beta_1$	YT等待作业指令	$\beta_5$	YC等待指令	$\beta_{18}$
QC等待YT	$\beta_3$	YT在取箱点1等待	$\beta_7$	YC等待YT	$\beta_{20}$
		YT在取箱点2等待	$\beta_{10}$		
		YT在交箱点1等待	$\beta_{13}$		
		YT在交箱点2等待	$\beta_{16}$		

$$\begin{aligned} \text{非增值作业成本} &= (\beta_1 x_1 + \beta_3 x_3) \times C_{QC} + (\beta_5 x_5 + \beta_7 x_7 + \beta_{10} x_{10} + \beta_{13} x_{13} + \beta_{16} x_{16}) \times C_{YT} + (\beta_{18} x_{18} + \beta_{20} x_{20}) \times C_{YC} \\ &= T_{QC}^{NVA} \times C_{QC} + T_{YT}^{NVA} \times C_{YT} + T_{YC}^{NVA} \times C_{YC} \end{aligned}$$

□ 业务与技术

$$\text{非增值作业成本率} = \frac{T_{QC}^{NVA} \times C_{QC} + T_{YT}^{NVA} \times C_{YT} + T_{YC}^{NVA} \times C_{YC}}{T_{QC} \times C_{QC} + T_{YT} \times C_{YT} + T_{YC} \times C_{YC}}$$

3. 确定产能成本。在时间驱动作业成本法模型中,时间方程的确立使模型的后续建立逐步得到推进,为了得到确切的产能成本,作业成本动因率将作为过渡因子,其表示一定时间内作业成本向产品分配的常数项。最后,统计各个作业消耗的作业成本动因量,用各作业的作业成本动因量乘以单

位作业成本动因率即可得出分配到某主要装卸作业的作业成本。其表示如下:

$$\text{作业成本动因率} = \text{资源单位产能成本} \times \text{单位作业耗用产能} \quad (3)$$

$$\text{分配至主要装卸作业的作业成本} = \text{作业动因量} \times \text{作业成本动因率} \quad (4)$$

该过程的流程图如图5所示:

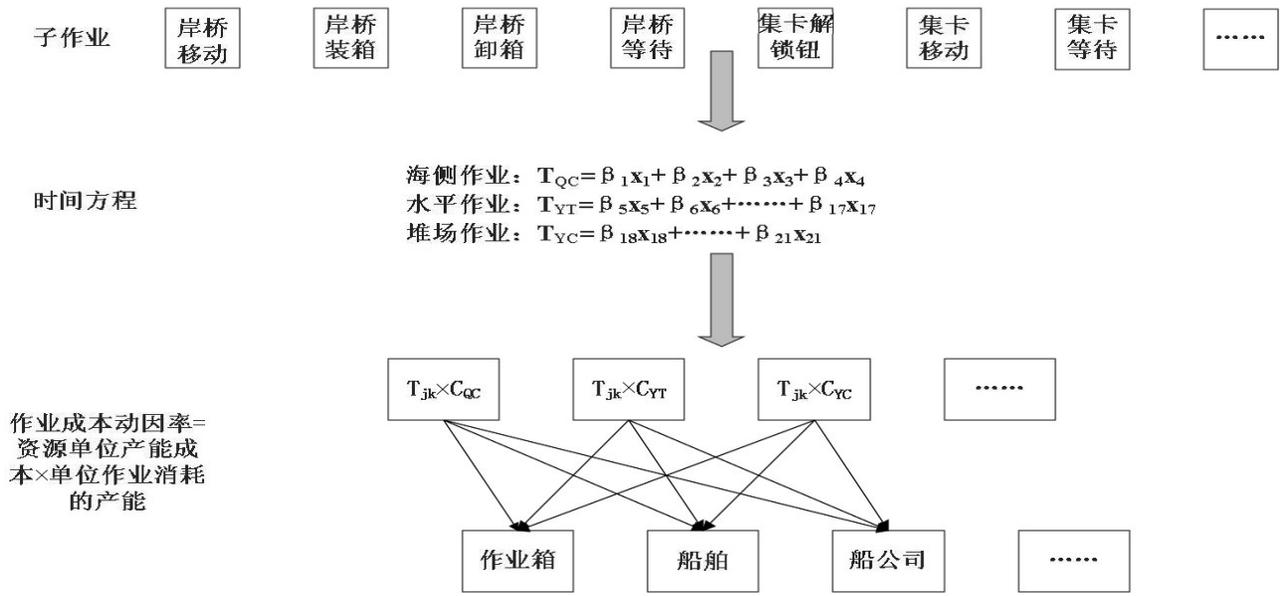


图5 时间方程到产能成本

四、案例分析

笔者利用上海港某码头TDABC信息系统中一艘靠泊班轮的具体业务操作数据,建立TDABC成本体系模型,从成本分布角度评价港口运作情况,从而找到港口装卸作业的薄弱环节,分析瓶颈产生的原因,并提出解决方法。接着,通过港口现有航线各班轮装卸数据预测下一时期该航线各船期编号班轮装卸作业成本。

(一) 确定产能成本率

为了达到相关业务目标,港口的每项作业活动都消耗相应的资源,将这些资源成本进行归类,可以用劳动力(机械司机)、设备、能源消耗和维修费用等直接成本要素来衡量港口各项作业活动的成本消耗,统计出港口在一定时间内的运行成本、维护成本和司机工资等,以此为基础计算产能成本。而港口各项作业的产出成果通常用作业数量、质量以及作业效率来衡量。上海某码头2014年相关统计数据如表3所示。

(二) 建立时间方程并确定产能成本

采集上海浦东码头某个月的装卸作业总数据,将装卸作业按表1中子作业进行划分并逐一统计子作业活动次数,并按三阶段装卸作业建立时间方程。详细统计数据见表4。

表3 2014年1~12月上海港某码头集装箱装卸作业平均产能成本率

设备名称	运行成本(万元)	维护成本(万元)	司机工资(万元)	其他费用(万元)	总成本(万元)	总产能(资源时)	产能成本率(元/资源时)
岸桥(QC)	437.78	875.57	7442.35	2188.93	10944.63	249900	438
集卡(YT)	2122.63	47.15	1037.72	2216.97	5424.47	872916	62
场桥(YC)	9022.07	281.93	3383.27	563.88	13251.15	247668	535

表4 QC、YT和YC子作业情况分布

设备名称	子作业活动次数	非增值资源时(小时)	增值资源时(小时)	总资源时(小时)
岸桥(QC)	14678	424.98	540.29	965.27
集卡(YT)	7071	1844.72	1519.27	3363.99
场桥(YC)	6466	351.64	281.33	632.97

由表3可知,集装箱码头三阶段装卸作业产能成本率分别为438元/资源时,62元/资源时和535元/资源时。下面通过时间方程计算该码头本月的装卸总成本以及非增值作业成本率。

$$\text{总成本} = T_{QC} \times C_{QC} + T_{YT} \times C_{YT} + T_{YC} \times C_{YC} = 965.27 \times 438 + 3363.99 \times 62 + 632.97 \times 535 = 969994.59 (\text{元})$$

$$\text{非增值作业成本} = T_{QC}^{NVA} \times C_{QC} + T_{YT}^{NVA} \times C_{YT} + T_{YC}^{NVA} \times C_{YC} =$$

424.98×438+1844.72×62+351.64×535=488641.28(元)

$$\text{非增值作业成本率} = \frac{T_{QC}^{NVA} \times C_{QC} + T_{YT}^{NVA} \times C_{YT} + T_{YC}^{NVA} \times C_{YC}}{T_{QC} \times C_{QC} + T_{YT} \times C_{YT} + T_{YC} \times C_{YC}}$$

$$= \frac{488641.28}{969994.59} = 50.38\%$$

从图6可以看出,岸桥(QC)的非增值作业成本比率为44.03%,集卡(YT)的非增值作业成本比率为54.84%,场桥(YC)的非增值作业成本比率为55.55%。由此可知,非增值作业成本在各阶段作业中所占的比重不可被忽视,其中集卡和场桥的非增值作业成本比重较高。同时,由于岸桥和场桥的产能成本率很高,且其直接关系到船舶的作业效率,因此,必须保证海侧和堆场的场地通过能力,从而减少桥吊对集卡的等待时间。从另一方面来说,场桥和岸桥的产能结构相对于集卡较为简单,减少桥吊等待集卡的时间,也能有效减少二者带来的产能浪费。

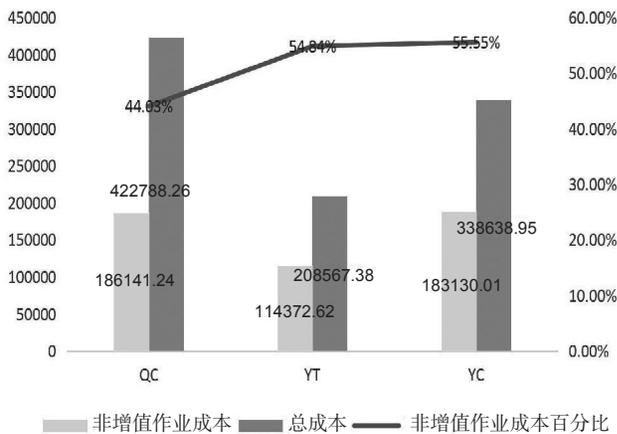


图6 三阶段装卸作业成本分布

图7清晰地展现了港口三阶段装卸作业各子作业资源时的具体走势。结合表4可知,集卡(YT)的产能浪费十分严重,等待指令的总时间为1844.72小时。一方面是由于集卡数量较大,集卡调度人员做出的决策数量较多,且决策考虑因素较多造成的。另一方面则是由于一个人在一定时间内决策能力有限,所以造成了集卡长时间等待命令。因此可以尝试在保证船舶作业效率的情况下,适当减少集卡的配置。而集卡资源配置是否过剩,可以通过集卡在海侧和堆场内是否造成拥堵进行判断。通过集卡子作业 $\beta_5$ 、 $\beta_7$ 、 $\beta_{10}$ 、 $\beta_{13}$ 、 $\beta_{16}$ 分析集卡的等待时间,发现海侧拥堵较场内拥堵更为严重( $\beta_5 + \beta_7 + \beta_{10} > \beta_{13} + \beta_{16}$ ),应该适当地

减少(保证作业效率为前提)集卡数量,优化海测和场内的通过能力,同时也可以减少集卡调度人员的决策难度,提升生成指令的效率。从分析结果可以看出,目前港口对资源配置和调度有一定的随意性,机械资源利用率不高,非增值成本比率较高,因此也相应存在很大的优化空间。

### (三)港口装卸作业成本回归预测分析

1. 支持向量机。支持向量机(Support Vector Machine, SVM)是在1995年由Vapnik创建的统计学习理论(Statistical Learning Theory, STL)的基础上发展而来的一种机器学习方法,主要应用于监督学习中的数据分析和模式识别。统计学习理论采用结构风险最小化(Structural Risk Minimization, SRM)准则,在最小化样本点误差的同时,最小化结构风险,提高了模型的泛化能力,且没有数据维数的限制。在进行线性分类时,将分类面取在离两类样本距离较大的地方;进行非线性分类时通过高维空间变换,将非线性分类变成高维空间的线性分类问题。SVM还可以解决回归拟合方面的问题,Vapnik等人在SVM分类的基础上引入了 $\epsilon$ 不敏感损失函数,得到了回归支持向量机(Support Vector Machine for Regression, SVR),并且取得了很好的性能和效果。本小节将阐述SVR的基本思想,并将采集到的上海港某码头航线具体数据作为样本集,结合MATLAB中Libsvm软件包中的函数Svm-train实现对SVR回归模型的创建、训练及结果分析。

2. SVM回归预测模型建立。SVM应用于回归拟合分析时,其基本思想不再是寻找一个最优分类平面使得两类样本分开,而是寻找一个最优分类面使得所有训练样本离该最优分类面的误差最小,如下页图8所示。

设含有1个训练样本的训练集样本对为 $\{(x_i, y_i), i=1, 2, \dots, l\}$ ,其中, $x_i(x_i \in R^d)$ 是第*i*个训练样本的输入列向量, $x_i = [x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^d]^T, y_i \in R$ 为对应的输出值。

设在高维特征空间中建立的线性回归函数为:

$$f(x) = w\Phi(x) + b \tag{5}$$

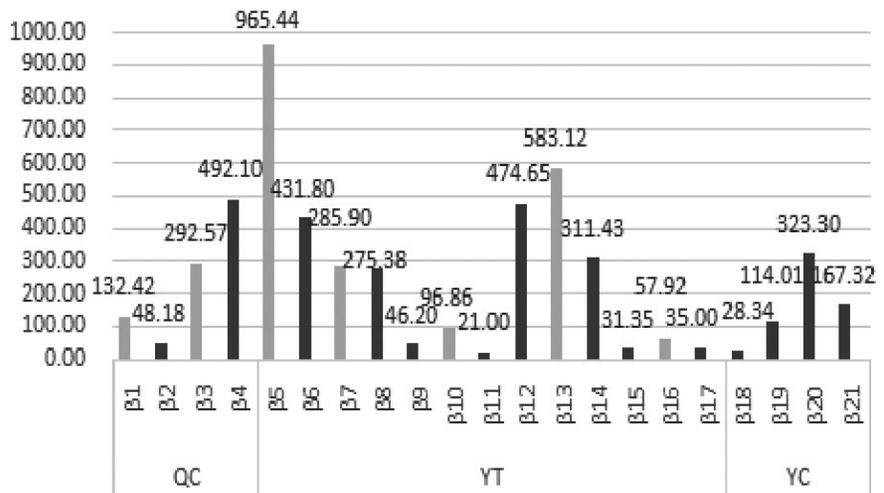


图7 三阶段装卸作业子作业资源时分布

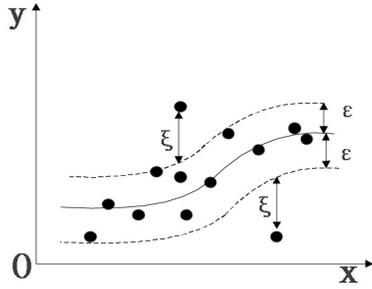


图 8 SVR 基本思想示意图

其中,  $\Phi(x)$  为非线性映射函数。

其次, 定义  $\varepsilon$  线性不敏感损失函数:

$$L(f(x), y, \varepsilon) = \begin{cases} 0, & |y - f(x)| \leq \varepsilon \\ |y - f(x)| - \varepsilon, & |y - f(x)| > \varepsilon \end{cases} \quad (6)$$

其中:  $f(x)$  为回归函数返回的预测值,  $y$  为对应的真实值。引入 Lagrange 函数, 并将其转化为对偶形式求解, 当通过非线性映射到高维特征空间时, 需要在高维特征空间中计算点积, 为了减少计算量, 特引入满足 Mercer 条件的核函数  $K(x_i, x_j)$  来代替点积运算, 即:

$$K(x_i, x_j) = \Phi(x_i) \Phi(x_j) \quad (7)$$

$$\text{则有 } w^* = \sum_{i=1}^l (\alpha_i - \alpha_i^*) \Phi(x_i)$$

$$b^* = \frac{1}{N_{\text{nsv}}} \left\{ \sum_{0 < \alpha_i < C} \left[ y_i - \sum_{x_j \in \text{SV}} (\alpha_j - \alpha_j^*) K(x_i, x_j) - \varepsilon \right] + \sum_{0 < \alpha_i < C} \left[ y_i - \sum_{x_j \in \text{SV}} (\alpha_j - \alpha_j^*) K(x_i, x_j) + \varepsilon \right] \right\}$$

其中,  $N_{\text{nsv}}$  为支持向量个数。

于是, 回归函数为:

$$\begin{aligned} f(x) &= w^* \Phi(x) + b^* = \sum_{i=1}^l (\alpha_i - \alpha_i^*) \Phi(x_i) \Phi(x) + b^* \\ &= \sum_{i=1}^l (\alpha_i - \alpha_i^*) K(x_i, x) + b^* \end{aligned} \quad (8)$$

3. MATLAB 实现。采集 2015 年 10 月份上海港某码头 G6 美西线 126 条靠泊班轮三阶段装卸作业产能数据, 利用前文计算得到的三种机械产能成本率, 核算出该航线本月所有班轮三阶段装卸成本数据, 利用 SVM 建立的回归模型对 G6 美西线的装卸作业成本进行回归拟合。假设该航线每条班轮编号与该班轮靠泊(离泊)装卸作业成本中的岸桥成本、集卡成本和堆场成本相关, 并分别标记为因变量和自变量, 从而进行模型拟合。整体流程如图 9 所示:

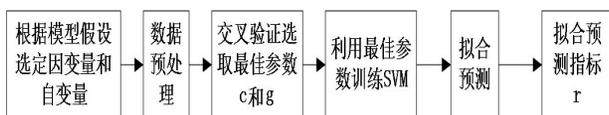


图 9 模型算法整体流程

选取序列为第 1 条至第 125 条班轮的三阶段装卸成本数

据为自变量, 选取序列为第 2 条至第 126 条班轮的班轮编号作为因变量, 利用 MATLAB 进行 SVM 回归预测拟合。对数据进行归一化处理, 通过交叉验证选取最佳参数  $c$  和  $g$ 。如图 10 所示。

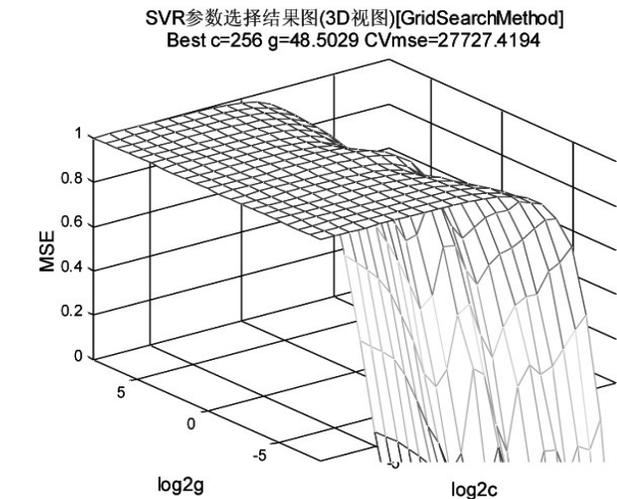
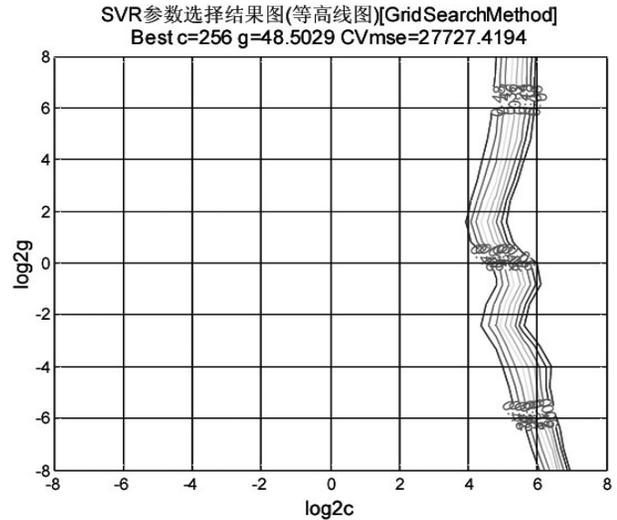


图 10 参数选择结果

利用上面得到的最佳参数  $c$  和  $g$  对 SVM 进行训练, 然后以原始数据作为测试集进行回归预测。最终回归预测结果如图 11 所示。

通过对 G6 美西线上所有班轮三阶段装卸成本进行回归分析, 最终拟合结果为: 均方误差 MSE 为  $2.35705e-0.05$ , 平方相关系数  $R$  为 99.778%, 由此可见, 经过训练后的 SVM 拟合度较好。结合公式 (8) 中的回归方程, 得出 G6 美西线下个月陆续到达的 28 条班轮装卸三阶段总成本如表 5 所示。

利用 SVM 对 G6 美西线班轮靠泊装卸成本的有效预测, 可以为从整体上观测途经该航线所有船舶码头装卸成本的变化提供强有力的信息。从集装箱码头角度出发, 航线上相应船期对应的班轮作业成本的预测数据可以按照 TDABC 中的时间动因分配到各个装卸作业环节, 可以有效反映出码头

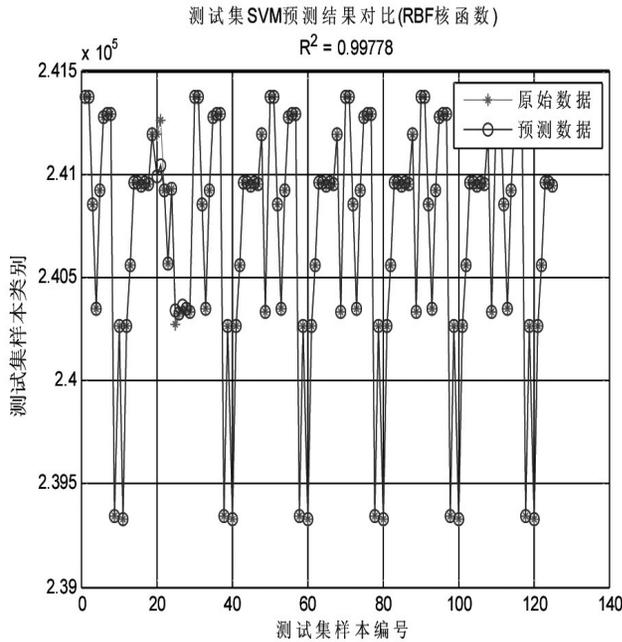


图 11 回归预测拟合结果对比

表 5 G6美西线班轮作业总成本预测值 单位:万元

船期	240335	241372	241375	240855	240350	240924	241279
成本	4040.40	3909.04	3759.49	3707.42	3680.64	4020.95	3727.62
船期	241293	241296	239342	240265	239328	240266	240561
成本	3976.69	3769.03	3807.01	3916.38	3942.35	4028.31	4033.73
船期	240961	240960	240943	240957	240951	241192	241193
成本	4058.84	3544.27	4073.72	3912.47	3908.95	4031.25	3887.75
船期	241262	240925	240570	240930	240273	240328	240332
成本	3966.24	3761.52	3884.22	3832.47	3941.27	3935.96	3901.86

三阶段装卸作业的瓶颈所在,降低调度人员决策难度,提高集装箱码头资源配置的利用效率。此外,成本预测能够在一定范围内为管理者进行合理的泊位定价提供有力的数据支持,科学高效地进行码头管理工作,从而促使码头企业在与集装箱运输企业的价格博弈中获得成功。因此,航线船舶装卸成本的预测很有意义。

### 五、结束语

本文阐述了如何利用时间驱动作业成本法(TDABC)在集装箱码头装卸作业过程中建立成本控制模型并提供准确

详尽的成本信息。该方法能够以时间为驱动因子来计量码头三阶段装卸子作业产能,解决现行成本核算模式中的问题,而且为成本分析提供清晰的量化指标,方便管理者对生产过程进行成本控制。通过三阶段装卸子作业成本的分析,能够发现产能瓶颈、及时改变调度策略,减少非增值作业的产能浪费,从而提高增值作业效率,这对港口企业的成本管理及控制具有重要的现实意义。

### 主要参考文献:

- 罗勋杰,丁涛,林桦,胡艳君,刘柏祥.基于集装箱码头生产过程的成本控制方法研究[J].集装箱化,2011(1).
- 任辉.关于集装箱码头成本精细化核算的探讨[J].时代金融,2014(21).
- Gosselin M.. A Review of Activity-Based Costing: Technique, Implementation, and Consequences [J]. Handbooks of Management Accounting Research, 2006(2).
- Kaplan R. S., Anderson S. R.. Time-driven Activity-based Costing[J]. Harvard Business Review, 2004(11).
- 王力.集装箱码头装卸系统三阶段设备集成调度优化[D].上海:上海交通大学,2013.
- Everaet P., Bruggeman W., Sarens G. et al.. Cost Modeling in Logistics Using Time Driven ABC: Experiences from a Wholesaler[J]. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 2008(38).
- Kaplan R. S., Anderson S. R.. Time-driven Activity-based Costing: A Simpler and More Powerful Path to Higher Profits[M]. Harvard: Harvard Business Press, 2007.
- Mitchell T. M.. Machine Learning[M]. 北京:机械工业出版社,2003.
- Vapnik V.. Statistical Learning Theory [M]. New York: Wiley Interscience, 1998.
- 史峰,王辉,郁磊,胡斐. MATLAB智能算法30个案例分析[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2011.
- 王晓红,吴德会.基于WLS-SVM回归模型的电力负荷预测[J].微计算机信息,2008(4).
- 冯振华,杨洁明. SVM回归的参数选择探讨[J]. 机械工程与自动化,2007(3).
- 作者单位:上海海事大学科学研究院物流研究中心,上海201306