

分类号: \_\_\_\_\_  
UDC: \_\_\_\_\_

密级: \_\_\_\_\_  
编号: \_\_\_\_\_

河北工业大学硕士学位论文

# 集装箱码头闸口交通需求 智能预测研究

论文作者:	张莎莎	学生类别:	全日制
专业学位类别:	硕 士	领域名称:	交通运输工程
指导教师:	庞明宝	职 称:	教 授

资助基金项目: 天津市科技支撑计划重点项目 (12ZCZDSF00300)



Dissertation Submitted to  
Hebei University of Technology  
for  
The Master of Engineering Degree of  
Communication and Transportation Engineering

# **STUDY ON INTELLIGENT PREDICTION FOR A CONTAINER TERMINAL GATE**

by  
Zhang Shasha

Supervisor: Prof. Pang Mingbao

December 2014

This work supported by the Main Project of the Science and Technology  
Support Plan of Tianjin City in China (12ZCZDSF00300)



## 原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师指导下，进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本学位论文不包含任何他人或集体已经发表的作品内容，也不包含本人为获得其他学位而使用过的材料。对本论文所涉及的研究工作做出贡献的其他个人或集体，均已在文中以明确方式标明。本学位论文原创性声明的法律责任由本人承担。

学位论文作者签名：张莎莎

日期：2014.12.17

## 关于学位论文版权使用授权的说明

本人完全了解河北工业大学关于收集、保存、使用学位论文的以下规定：学校有权采用影印、缩印、扫描、数字化或其它手段保存论文；学校有权提供本学位论文全文或者部分内容的阅览服务；学校有权将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索、交流；学校有权向国家有关部门或者机构送交论文的复印件和电子版。

（保密的学位论文在解密后适用本授权说明）

学位论文作者签名：张莎莎

日期：2014.12.17

导师签名：席明全

日期：2014.12.17



## 摘 要

集装箱码头闸口是集卡进出码头的必经关口，是港区集疏运作业的关键节点和瓶颈。其开设的不合理，不仅使客户长时间排队等待，也造成由于排队长度过长交通量过大而使港口道路拥堵严重，同时给码头企业的运输作业形成巨大的压力，使得集装箱码头企业由于这种需求的不确定性而使运输组织无法合理安排，不均衡性更加严重，企业经济损失严重，因此对集装箱码头闸口交通需求进行预测具有重要的理论和工程应用价值。同时，虽然集装箱码头闸口交通需求具有非线性特点，但集装箱码头企业运输作业随船期表的特性，又使其运输组织特别是闸口交通需求呈现出一定的规律性、内随机性。如何利用现代信息智能技术和其高度非线性特点，对闸口交通需求进行预测研究，成为本研究的出发点。本论文主要工作可概括为以下几方面：

（1）港区集疏运交通系统分析。在讨论系统基本要素、系统环境、交通特点等基础上，设计了包括信息子系统、历史信息数据库、知识库、在线预测子系统、离线预测子系统等构成的集装箱码头闸口交通智能预判系统，并对各子系统的功能、原理以及智能预判系统的功能、原理予以说明，为集装箱码头闸口交通需求的智能预测提供基础平台和工程应用可能。

（2）基于曲线拟合和 SVM 的码头闸口交通需求预测研究。运用概率分布拟合方法，建立基于历史信息的集装箱码头闸口的概率分布模型，并采用 SVM 方法对每一班船集卡数量进行预测，从而对各个时间段的集卡车数量进行预测，并通过具体实例予以验证。

（3）基于实时信息的码头闸口交通需求预测方法。在 PDFM 方法确定概率分布的基础上，建立了一种基于实时信息的概率修正预测模型，通过实例进行验证，显示出该预测方法的高精度性。

（4）基于季节性 ANN 的码头闸口交通需求预测方法。在集装箱码头闸口交通需求源于船期表具有季节性和非线性特点系统分析的基础上，提出基于每条班线船期表来预测其对码头闸口产生交通需求的思想，采用季节性时间序列方法处理集港车辆到达码头闸口随时间的数量分布，建立处理后的时间序列数据与预测交通量之间非线性关系的人工神经网络模型。在天津港集装箱码头闸口进行具体例子应用，证明了该方法优于概率分布拟合方法和基于实时信息的概率修正预测方法，显示其可行性。

关键词：智能运输系统；集装箱码头；闸口交通需求；船期表；季节性时间序列；人工神经网络





## ABSTRACT

Container terminal gate is the inevitable corridor for the container trucks to get in and out a terminal, the key node and bottleneck for the operation of port collecting and distributing system. Its irrational setting will not only makes customers to wait for a long time in a queue, but also causes some severe jamming problem in port area' roadway because of the long queue length and great traffic volume pressure. In the meaning time, these terminal enterprises feel great pressure on their transportation operation, i.e., a more reasonable arrangement problem of transport organization in order to avoid seriously imbalance of operation and huge economic losses because of demand uncertainty. Therefore, the problem of predicting the traffic volume for a container terminal gate is extremely significance in both theoretical study and practical application. At the same time, although traffic demand of container terminal gate has nonlinear characteristics, there are some regularity and inner randomness of transport organization especially the gate traffic demand with sailing schedule. How to make use of modern information intelligence technology and high nonlinear characteristics to predict the traffic demand of gate is the starting point of the study. The main work in this paper could be summarized as the following aspects:

(1) The collection and distribution traffic system in the port area was analyzed. Based on the discussion of system fundamental factors, system environment and traffic characteristics, the intelligent prediction system of terminal gate was designed including information subsystem, database, knowledge base, off-line predicting subsystem and on-line predicting subsystem. The functions and theories of these subsystems and the intelligent prediction system were explained. It provided a basic platform and application possibility to study the traffic volume intelligent prediction of container terminal gate.

(2) The predicting method of traffic demand on a container terminal gate was studied by using on curve fitting method and support vector machine (SVM). A probability distribution model was set up based on historical information and probability distribution fitting method. The total number of container truck in each boat by using SVM. The number of container truck can be got in each time period and it was verified by concrete examples.

(3) The predicting method of traffic demand on a container terminal gate was studied using real-time information. A probability correction predicting model with real time

information was proposed based on the probability distribution by using probability distribution fitting method. The concrete testing example shows its high precision by using the method.

(4) The predicting method of traffic demand on a container terminal gate was studied by using on seasonal artificial neural networks method. Based on the seasonal and nonlinear characteristics of traffic demand on a container terminal gate originating from sailing schedule, the thought was proposed to predict the traffic demand of terminal gate based on sailing schedule including each scheduling line. The traffic volume for container truck arriving at terminal gate was transferred into the normal time series data by using seasonal time series method. A neural network model, which maps the nonlinear between the transferred time series data and the predicted traffic volume, was established. The results of the concrete example on a container terminal gate in Tianjin Port show that the method is prior than that probability distribution fitting method and probability correction predicting method based on real-time information. The feasibility of the method was proved.

**KEYWORDS:** intelligent transportation system (ITS); container terminal; gate traffic demand; sailing schedule; seasonal time series; artificial neural networks (ANN)

## 目 录

摘 要 .....	I
ABSTRACT.....	III
第一章 绪论 .....	- 1 -
1.1 研究目的与意义.....	- 1 -
1.1.1 研究背景 .....	- 1 -
1.1.2 研究目的及意义.....	- 2 -
1.2 国内外研究评述.....	- 3 -
1.2.1 港区道路交通量传统预测方法 .....	- 3 -
1.2.2 码头闸口优化设计研究.....	- 4 -
1.2.3 基于船期表的港区道路交通量预测 .....	- 5 -
1.3 研究内容和基本框架.....	- 6 -
1.3.1 研究内容 .....	- 6 -
1.3.2 本研究基本框图.....	- 7 -
第二章 集装箱码头闸口交通需求智能预判系统设计 .....	- 9 -
2.1 港区集疏运交通系统分析.....	- 9 -
2.1.1 系统要素 .....	- 9 -
2.1.2 闸口子系统分析.....	- 11 -
2.1.3 系统环境 .....	- 12 -
2.2 港区集疏运交通流特点分析 .....	- 13 -
2.2.1 交通流构成.....	- 13 -
2.2.2 港区集疏运交通流生成过程.....	- 14 -
2.2.3 交通流特点.....	- 15 -
2.3 码头闸口交通智能预判系统设计 .....	- 17 -
2.3.1 系统设计的基本要求 .....	- 18 -
2.3.2 系统结构及原理.....	- 18 -
2.3.3 智能预判系统数据库部分表.....	- 20 -
2.3.4 软件演示界面 .....	- 22 -
第三章 基于曲线拟合和 SVM 的集装箱码头闸口交通需求预测.....	- 29 -
3.1 闸口交通需求曲线拟合的概率统计.....	- 29 -
3.1.1 数据的处理.....	- 29 -
3.1.2 闸口交通流概率分布 .....	- 29 -

3.2 基于 SVM 的闸口交通需求总量预测 .....	31 -
3.3 各时间段的闸口交通需求预测 .....	32 -
3.4 天津港应用分析 .....	34 -
3.4.1 天津港基本现状 .....	34 -
3.4.2 数据的获取 .....	35 -
3.4.3 各时间段概率分布 .....	36 -
3.4.4 集装箱码头闸口交通需求总量预测 .....	41 -
3.4.5 各时间段集卡数量预测 .....	42 -
3.5 小结 .....	44 -
第四章 基于实时信息的码头闸口交通需求智能预测 .....	45 -
4.1 基于实时信息的概率修正思路 .....	45 -
4.2 基于 ANN 的概率修正 .....	46 -
4.3 应用分析 .....	48 -
4.3.1 概率修正 .....	48 -
4.3.2 实例结果比较及分析 .....	50 -
4.4 小结 .....	51 -
第五章 基于季节性 ANN 的智能预测 .....	53 -
5.1 季节性时间序列 .....	53 -
5.2 码头闸口交通需求 SANN 建模方法设计 .....	53 -
5.2.1 季节差分-BP 模型设计 .....	53 -
5.2.2 智能预判分析 .....	55 -
5.2.3 季节性神经网络预测模型 .....	56 -
5.3 应用分析 .....	57 -
5.3.1 闸口交通量季节性特点分析 .....	57 -
5.3.2 SANN 模型预测结果 .....	58 -
5.3.3 实例结果比较及分析 .....	60 -
5.4 小结 .....	61 -
第六章 结论与展望 .....	63 -
6.1 结论 .....	63 -
6.2 创新点 .....	64 -
6.3 展望 .....	64 -
参考文献 .....	65 -
攻读硕士学位期间所取得的相关科研成果 .....	69 -
致    谢 .....	71 -

# 第一章 绪论

## 1.1 研究目的与意义

### 1.1.1 研究背景

集装箱码头闸口是连接码头（含前方堆场和船边装卸作业）和港区道路的节点<sup>[1-2]</sup>，是集装箱进出码头的门口与通道，是港区和集疏运作业的关键环节。目前很多港口的集装箱码头闸口在一定时间段呈现出大面积集卡排队现象<sup>[3-5]</sup>，特别是在集疏运高峰，不仅给包括集卡司机在内的客户造成了很长时间的等待费用，还给码头企业、港口管理部门造成了很多问题：（1）码头装卸企业无法依据可能的交通需求制定合理的装卸作业计划。安排很多装卸设备、人员时，没有那么多的集卡即装卸作业需求；安排较少装卸设备、人员时，却可能出现较多需要通过闸口进入码头装卸作业的交通需求。集卡车辆通过闸口时间较短，特别是现在大部分集卡装备上有电子标签等设备，闸口较长排队不是由于闸口本身通过容量的设计与管理问题所造成的，而是由于码头实际安排的装卸作业不均衡所限制造成的。所以依据预测的比较准确的进入闸口集卡车辆来进行作业计划安排是码头企业降低运营成本、增加经济效益的基本要求。虽然一些码头企业采用了预约集港的方式，但这仅限于国际班线中在集港前期将集装箱存放于后方堆场的码头企业，以及疏港转栈部分。不适用于国际班线中在集港前期就将集装箱存放于前方堆场的码头企业，以及直接疏港部分。特别是国内班线运输，由于市场竞争的激烈以及不需要海关等口岸部分的报关检查，集港简单且一般集中于码头前方堆场，需求的不确定性造成了其是目前国内集装箱码头闸口在一定时间段所呈现大面积集卡排队现象的主要原因之一。（2）码头闸口大面积排队造成队列排在港区道路上，使得港区交通拥堵严重。由于港区道路相对封闭，使得这些局部路段的拥堵可能演变为区域性拥堵，给港区交通安全、交通管理造成了严重问题，甚至影响到其它无关码头企业车辆的运输以及装卸作业，降低了集装箱卡车的运营效益，严重影响了港口集疏运效率。（3）对客户造成的影响，主要是长时间的排队等待。港口吞吐量的高速增长，导致集港高峰期大量集卡同时到达码头闸口，而码头闸口外有限的停车等待区，使得大量集卡占用干线道路进行长时间的排队等待，通过实际调研发现，在集港高峰期，集卡车司机排队等待时间达到 6 个小时之久，集卡在排队等待期间排放大量的汽车尾气，增加了安全隐患，降低了客户对码头服务的满意度。因此对集装箱码

头闸口交通需求进行快速、准确的智能预判，是港口管理部门、码头企业进行管理、作业的基本要求。

闸口是码头内外部的分界点，是连接码头与港区道路的关键部位，闸口的作业效率直接影响了港区集疏运系统的通畅程度。目前，我国进出口贸易不断发展，港口吞吐量逐年增长，并且，船舶日趋大型化，导致港区集疏运系统已经不能满足日益增长的交通需求。尤为突出的是集港时码头闸口拥堵现象更为严重，不但提高了成本费用，而且降低了码头作业效率。通过阅读大量的相关文献以及实地的调研发现，一些老港区集装箱码头闸口拥堵情况日益凸显，例如天津港北疆港区，码头的经济效益受到了直接的影响。因此如何合理地对码头交通需求进行预测，并以此为指导将码头闸口装卸作业计划与整个港区集疏运系统进行有机衔接，是减少物流成本，增加码头经济效益，提高港口作业效率、实现港口快速发展的关键。但是以往研究，从研究方法层面上来讲，主要是采用一般城市道路交通的方法，利用历史数据，对港区交通量进行宏观的预测，忽略了港区集疏运交通量产生的根本原因，从研究内容层面来讲，研究内容是码头闸口设计与管理方面，把将码头闸口交通需求作为已知，不涉及码头闸口交通需求的预测问题。本论文建立以船期表为核心基于实时信息的各个时间段的集装箱码头闸口交通需求智能预测方法，具有重要的社会意义和工程应用价值。

### 1.1.2 研究目的及意义

闸口是集装箱卡车进出码头进行作业的必经关口<sup>[6]</sup>，处在港区集疏运系统中较为关键的位置，对于码头闸口交通需求的预测不仅能够提高港口的作业效率、减少资金的投入，还可以准确地计算出码头装卸企业作业人员安排数量及机械配比，避免资源浪费，达到码头企业降低成本的目的，具有显著的实践意义。本论文的目的意义体现在三个方面：

(1) 为码头企业制定合理的运输组织计划提供基本依据，从而为降低企业运营成本提高经济效益提供可能。

依据准确的交通需求预测结果，一是，可以有效地规避码头装卸作业中作业人员数量、机械配置比例，包括岸桥、场桥、叉车、正面吊等与实际交通需求不均衡的情况发生，合理地对资源进行优化配置，避免了人员、机械的闲置，使码头企业能够快速、高效的运转。二是，由于人员机械的合理安排，没有了人员、机械闲置，在很大程度上，为码头企业节省了开支，降低了运营成本。三是，根据各个时段交通需求的预测结果，可以有针对性的对某个时段调整人员机械安排，或者对码头的业务流程进行改进等，提高码头企业的运营效率。

(2) 有助于港口管理部门对港区道路进行更好的交通管理控制。

集装箱卡车与一般道路上行驶的车辆相比，车身较长，行车速度慢，转弯半径较

大,并且港区道路相对封闭的特点,很大程度上会使码头闸口局部性拥堵演变为港区道路区域性拥堵,影响整个集疏运系统的运行。而准确的交通需求预测结果,能够为港口管理人员提供参考依据,以便对港区道路交通情况进行有效地管理控制,使得港区交通顺畅运行。其次,不同时段交通状况会造成不同程度的影响,特别是集港高峰,会与平时时段的道路状况相差悬殊,通过对各个时段闸口交通需求的预测,港口管理部门可以分时段对集卡车辆进行合理安排及调度,减少码头闸口大面积排队现象,以此来提高集疏运系统的顺畅程度。

(3)降低客户等待时间,提高客户服务质量,具有重要的社会效益。

伴随着我国国际贸易的发展,吞吐量逐年上升,由于市场经济的竞争激烈,各个集装箱码头竞相采用新技术、新设备、新工艺,最大限度地提高码头吞吐能力,导致现有的道路设计已经不能跟上港口物流发展的步伐。尤其是一些老码头,码头闸口缓冲区排队情况严重,特别是在集港高峰期间,主干线道路被集卡占用,因此其它路段也受到干扰,导致集港作业无法顺利进行。所以从实际需要角度考虑,充分利用实时信息,能够比较准确的预测码头闸口交通需求,从而减少客户等待时间,具有重要的社会效益。

## 1.2 国内外研究评述

集装箱码头闸口交通需求预测研究相对较少,但针对港区集疏运系统交通量预测研究较多,其中集装箱码头闸口交通需求预测在这些研究中部分涉及。本文依据此将所涉及到的预测内容把预测方法分为以下三类:港区道路交通量宏观预测,码头闸口交通需求已知的码头闸口优化设计研究以及基于船期表的港区道路交通量预测,分别对其国内外研究现状进行评述。

### 1.2.1 港区道路交通量传统预测方法

在理论研究方面,大量关于港区道路交通需求的研究集中于采用常规交通规划方法如四阶段法等,从宏观角度来推测码头交通需求量。如2003年,密西西比州立大学的 Yunlong Zhang 对密西西比州港口区域综合交通枢纽采用传统的四阶段法进行了规划研究<sup>[7]</sup>。2007年,张勇采用传统四阶段法对深圳港西部港区疏港道路交通量进行预测<sup>[8]</sup>。但是对于集装箱港区的作业特点和货运交通特性,传统四阶段法并没有深入考虑,导致交通需求预测结果与实际结果差距偏大。随后,2007年,杨龙海以深圳盐田港保税区为研究对象,利用调整过的四阶段法推算货运车辆的交通需求<sup>[9]</sup>。同时间,杨君、翟长旭等利用生成率法和总量控制法对集疏港交通需求进行预测,利用增长率法对非集疏港交通需求进行预测<sup>[10-11]</sup>。李朝阳、孙伟也采用了此方法,并以钦州港为

例进行了验证<sup>[12]</sup>。但是该方法没有考虑港内道路交通与城市交通的不同,因而产生较大偏差。2010年,白子建等得出一种基于吞吐量反推的海港交通需求预测方法<sup>[13]</sup>,弥补了在货运交通需求预测中以用地为原单位的传统“四阶段法”预测模型的欠缺。2005年,王晓坤、陆化普得到了一种利用不均匀系数和港口吞吐量预测全年高峰小时道路交通量的方法<sup>[14]</sup>。2011年,林晓丹在王晓坤和陆化普研究的基础上,进行模型的改进完善,预测高峰期进港的交通量<sup>[15]</sup>。武汉理工大学的朱泽、周强,大连理工的苗明,广东公路勘察设计院的向前忠等借鉴了此思想<sup>[16-18]</sup>,大连港大窑湾港区路网规划、上海港洋山深水港区进港道路规划、日照港石臼港区疏港公路规划等实际项目中,也采用了这种方法<sup>[19-22]</sup>。但是这种方法不能反映集疏港车辆抵达港口的时间取决于船舶到达港口的时间,这一港口货运交通需求的产生机理,且在资料不足的情况下,主观因素较大影响预测结果。2009年,北京交通大学刘洋应用灰色关联——BP神经网络预测模型<sup>[23]</sup>,对新建集装箱物流园区的货运交通需求进行初步预测。2012年,孟嘉铭建立了港口货运交通量的BP人工神经网络预测模型<sup>[24]</sup>。但这种方法适用于新建港口物流园区的货运交通量预测。Pope, et.al等在《A network simulation of high-congestion road-traffic flows in cities with marine container terminals》中建立了海港城市高拥堵交通流网络,从宏观的角度对未来不同情况下的交通进行预测<sup>[25]</sup>。2003年,Boer和Waal等得到了一种利用一周内每天每小时的平均车辆到达率来预测港区交通需求方法<sup>[1]</sup>,该方法主要分析了港口交通流的统计规律,缺点是没有考虑到集疏港车辆与船舶到离港之间的关系,忽视了港口交通需求产生的根本原因。

虽然这些研究已经证实在港口货运交通量预测方面的有效性,但是这些研究并不能反映出港口交通的变化规律、分担方式、作业特点等内容,也不能反映港口交通复杂的非线性关系;针对的是港区道路系统不涉及码头闸口,不是以码头实际船期表-即码头作业形态为依据来进行推算的,仅适用于交通规划不适用于码头闸口实际的交通需求预测研究。

### 1.2.2 码头闸口优化设计研究

针对包括建立解析模型、仿真模型在内的码头闸口问题相关研究,将闸口交通需求作为通过大量统计的已知变量来研究闸口的优化设计和管理,该方面的研究内容主要分为两类:一是通过有关假设建立港口闸口缓冲区排队论解析模型的方式,来对港口闸口缓冲区进行优化设计和管理。2006年,Morais和Lord提出著名的码头预约系统(TAS),通过前方码头与后方堆场、货主之间的信息交互,将集疏港高峰期的集卡合理地分布到非高峰期内,以缓解闸口在集疏港高峰期的通行压力<sup>[26]</sup>,该方法的优点在于充分利用了信息的作用,很好地处理了集卡车集中到港所导致的拥堵问题。2010年,郑东学分析了进出港闸口作业的问题和码头闸口作业影响因素,运用排队论



建立了闸口排队分布解析模型,分析闸口车道数量变动和交箱时间变动的情况,针对提高天津港闸口通行能力提出了相关建议<sup>[27]</sup>。该方法描述了集装箱码头的动态特征,但是其建立的模型是基于排队论理论,研究层面过于宏观,在建立解析模型时存在很多假设,无法全面地反映研究对象的真实状态,不能深入分析研究对象。二是通过建立仿真模型的方法,对港口闸口缓冲区进行优化设计和管理。2009年,施梅超分析了传统闸口的弊端,利用 EXTEND 仿真软件建立了集装箱码头进出港闸口的仿真模型,并通过仿真对闸口系统进行了优化<sup>[28]</sup>,该方法应用仿真模型对闸口缓冲区进行了优化研究,提出了“加快闸口检查速度、增加闸口通道数量”等优化措施。2010年,姜瑜竹分析了离散事件的动态系统,利用 WITNESS 仿真软件,以集装箱码头闸口实际的作业流程和仿真目标为依据,对闸口系统进行模拟,通过码头闸口系统仿真模型的验证及结果分析,来判定码头闸口数量的合理性,在此基础上给出最优的闸口数量<sup>[29]</sup>。

虽然已有的研究在码头闸口设计与管理方面证实了其有效性,但是相关研究都是将码头闸口交通需求作为通过大量统计的已知变量为前提的,不涉及码头闸口交通需求的预测问题,也没有考虑码头装卸的作业形态,仅适用于交通规划阶段,不适用于码头企业运营调度,也不适用于港口管理部门交通管理。

### 1.2.3 基于船期表的港区道路交通量预测

2009年,杨忠振等通过 11 艘船只和三千多辆集卡,在固定的船舶作业时间窗下,建立了集卡道路交通量需求模型。此外,还提出了基于码头作业形态的港区道路交通需求预测模型,即采用概率分布拟合方法分析实地调查数据<sup>[3-5]</sup>,求出不同类型码头作业所诱发交通流的时间分布特征,在假设检验的基础上,建立基于码头作业形态的港区道路交通需求预测模型,为基于船期表的集装箱码头闸口交通需求预测提供基础。但这两种模型需要在特定的预约时间窗到达。2011年,丁文涛借鉴杨教授等的研究成果——确定船舶到港诱发下的集卡车抵港时间分布,基于“船舶到港时间决定集卡车抵港时间”的原理,根据船舶到港分布预测交通需求,建立全年任意小时货运交通量预测模型<sup>[4]</sup>。

实际上码头闸口交通需求不同于一般道路交通系统(如城市交通需求在上下班时间段的潮汐性特点),其呈现出“交通流随船舶作业变动”这一显著特征,即集疏运车辆达到港口、码头的具有一一定的概率分布。由于是初步研究,该方面研究存在以下局限性:(1)仅涉及概率分布模型,不涉及具体各个时间段的集卡车数量,各个时间段到达的集卡数量等于总集港量与概率之积。实际上每班次集港装船总箱数在集港截至时间前是不确定性的,特别是在航运市场竞争激烈、可能出现集港装船箱数小于该班次最大预留箱数的情况下。(2)该方法仅利用了历史信息-先验知识,即利用了大量历史信息进行统计建模,没有利用实时信息,即没有利用每一班次已到达的集

港集卡数量分布信息,不能满足智能交通系统既利用历史信息又利用实时信息的基本要求<sup>[30-31]</sup>。(3)该方法仅对到达港口车辆数量进行分析研究,不区分到达码头闸口、后方堆场等可能的地点,实际上港区道路交通是复杂网络,呈现出时空分布的不均衡性,具体每一个点、线等状态可能有很大的差异性。同时,针对每一条班线的集装箱码头闸口交通需求随着每一条班轮的装卸作业呈现出大致相似不完全相同的随机性特点,且同一班线的每一班次交通需求总量(集卡总量)不一定相等但随时间变化反映出经济周期的波动性特点,这两个特点实际是社会经济方面的季节性特征表现<sup>[30-34]</sup>,需要在预测模型中予以放映。

基于以上分析,本论文通过建立基于船期表的智能预测模型,对集装箱码头闸口交通需求进行预测研究。

## 1.3 研究内容和基本框架

### 1.3.1 研究内容

本论文研究的主要内容是基于实时信息的码头闸口交通需求智能预测问题,在总结分析以往学者研究的基础之上,对集疏运交通需求智能预判系统进行分析设计,建立以船期表为核心的能反映港口交通流特点的集装箱码头闸口交通需求智能预测模型,并且通过具体的应用分析显示了该方法良好的预测性能。

本论文具体研究内容及章节叙述如下:

(1)绪论。阐述了本论文选题的研究背景、目的及意义,并将关于港区道路交通需求的研究进行了分类评述,指出了其中的不足,表明了本论文研究的方向及内容。

(2)集装箱码头闸口交通需求智能预判系统设计。分析了港区集疏运交通系统和交通流特点,包括系统要素、系统环境、交通流构成、交通流特点及生成过程,由于码头闸口是港区集疏运交通系统的子系统之一,其交通量及其规律是由港区集疏运及其特点所决定的,本章将闸口子系统单独作为一个模块进行介绍,为后文的研究奠定了基础。设计了包括历史信息数据库、知识库、信息子系统、离线预测模型、在线预测模型等在内的动态智能预判系统。

(3)基于曲线拟合和 SVM 的集装箱码头闸口交通需求预测。基于历史信息,借鉴杨忠振教授等的思想,根据实际采集的历史数据建立了基于曲线拟合的码头闸口交通需求概率统计模型,用实例验证集装箱码头闸口交通需求的概率分布类型,并用支持向量机(Support Vector Machine, SVM)对码头闸口进行总量预测,最后利用二者之积得到各个时间段的集卡车数量,并以天津港为例进行实例分析。

(4)基于实时信息的码头闸口的交通需求智能预测。在第三章曲线拟合结果的

基础上,利用实时信息,对概率进行修正,即利用上一时间段已抵达的集卡概率偏差,来修正下一时间段即将抵达的集卡概率。本章节采用 ANN 方法进行概率修正,并通过具体实验证明了基于实时信息的概率修正方法的有效性。

(5) 基于季节性 ANN 的智能预测。单一班线集疏运交通量存在明显的季节性特征,首先用季节差分方法对数据进行预处理消除季节性波动特征,然后建立处理后的时间序列数据与预测交通量之间非线性关系的能实时更新的人工神经网络模型,预测各个时间段的集卡数量,以天津港集装箱码头某一班次的码头闸口交通需求预测的具体应用验证了该方法的有效性。

(6) 结论与展望。对本论文的研究工作进行总结,并指出下一步的研究方向。

### 1.3.2 本研究基本框图

本论文研究基本框架图如图 1.1 所示:

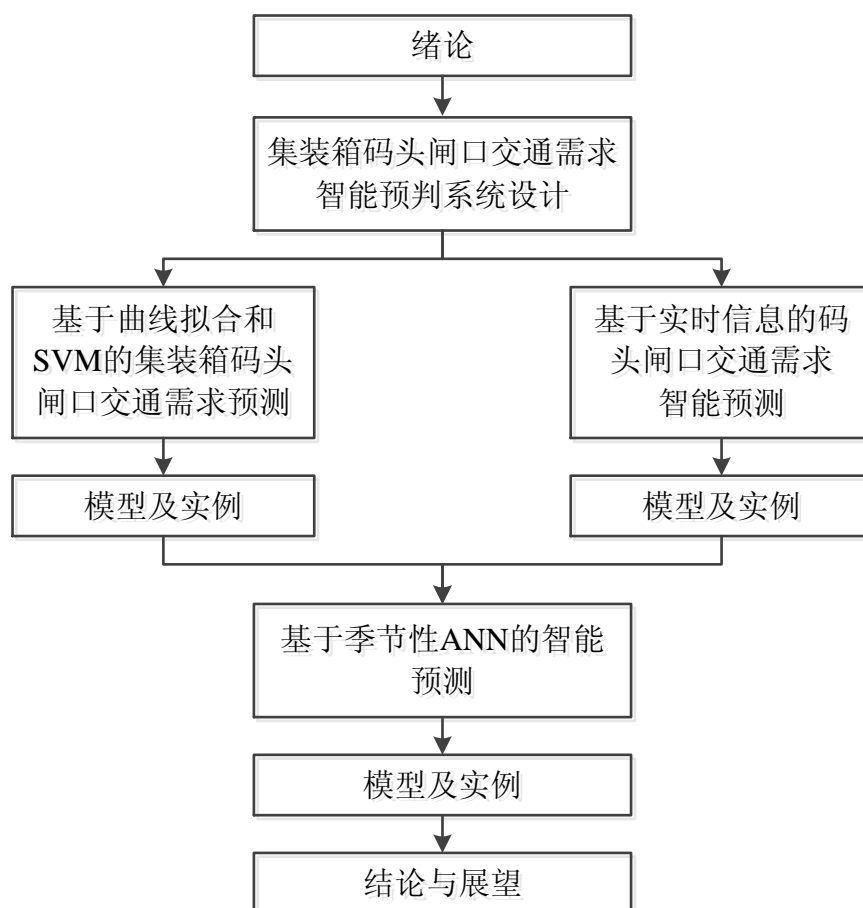


图 1.1 本研究基本框图



## 第二章 集装箱码头闸口交通需求智能预判系统设计

码头闸口是港区集疏运交通系统的子系统之一，本章首先分析了港区集疏运交通系统，其中将闸口子系统单独作为一个模块进行介绍，而闸口交通量及其规律是由港区集疏运及其特点所决定的，因此又对港区集疏运交通流特点进行了分析，在此基础上，设计了集装箱码头闸口交通需求智能预判系统。

### 2.1 港区集疏运交通系统分析

港区集疏运系统是指各种运输方式与港口相衔接形成的集中和疏散货物的交通运输系统<sup>[35,36]</sup>。它为货物完成全程运输提供重要基础设施和衔接场所，提供便捷的、完善的服务，实现物理和逻辑上的“无缝连接”，是港口与广大腹地相互联系的通道，是连接港口和货源地（或者货物目的地）的纽带，是港口控制物流成本的关键。

在港区集疏运系统中，包括集运与疏运两个大的环节，“集运”指的是发货人将所出口的货物从指定的场所运至港口，集中堆放在码头、码头附近的堆场或者是仓库的运输过程，对于集装箱港区，主要是指送箱子过程；“疏运”指的是把从船上卸下的进口货物，堆放在码头的后方堆场、港区附近的外部堆场或者是仓库，或者从船上直接卸到车辆上，然后通过合适的运输方式运到收货人指定的目的地的运输过程，对于集装箱港区，主要是指提箱子的过程<sup>[4,24,36]</sup>，下文中“港区”均是指集装箱港区。

#### 2.1.1 系统要素

集装箱港区集疏运交通系统主要由码头、港区道路和交通系统、后方堆场及集装箱物流中心部分组成，其中码头闸口是集装箱码头至关重要的一部分，是进出口集装箱进出码头的门户，是连接码头与港区道路的关键节点。由于其位置的重要性，本节在 2.1.2 节将码头闸口子系统单独进行分析，为下文码头闸口交通需求智能预判系统设计做准备。

##### （1）码头

集装箱码头由硬件设施和装卸搬运设备两部分组成。硬件设施包括码头闸口、货运站、控制室、维修车间、检查口、前方堆场、泊位等，搬运设备包括场桥、岸桥、叉车、跨运车、正面吊、集装箱卡车等。码头的作业过程示意图如图 2.1 所示，图中实线箭头表示装船过程，虚线箭头表示卸船过程，装卸过程分别依据航运公司信息系统指定的配载图和积载图进行作业。

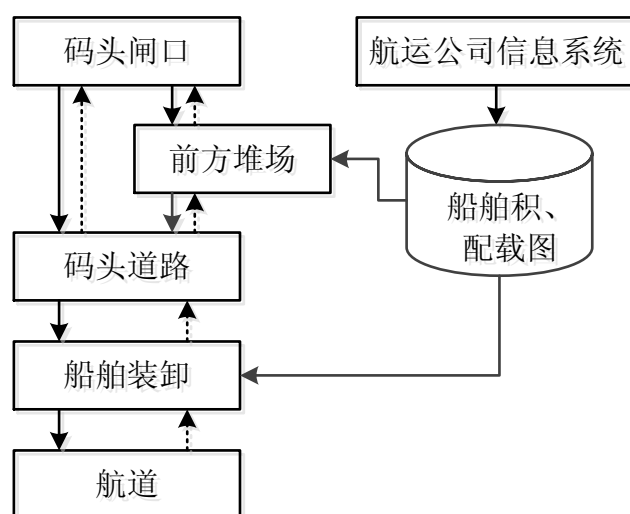


图 2.1 集装箱码头作业过程示意图

## （2）港区道路和交通系统

港区道路包括码头与后方堆场之间以及后方堆场与集疏运系统之间的运输通道，该通道对于集疏运交通系统运输效率起决定性作用。

港区内的道路只设有机动车道，一般不设人行道和非机动车道。港区内部道路网结构简单，网络特性不明显，通往目的地的路径单一，且替代路径少，还有港区有很多闸口，这在城市交通中是没有的，比如港区闸口、后方堆场闸口、码头内部前方堆场闸口等<sup>[37]</sup>。并且分散布置的堆场和位置较为集中的码头会给港区道路带来巨大的交通压力，当多个码头同时集港时，交通流互相干扰，会发生严重的道路拥堵。港区交通需求产生于货物运输的需要，因此港区道路主要的交通参与者是运载集装箱的卡车和大中型货车。集装箱卡车分为外卡（外部集卡车的简称）和内卡（内部集卡车的简称）两类，外卡指的是进出码头闸口进行取箱、送箱作业的集卡车；内卡指的是往返于前方堆场与码头前沿，进行水平运输的卡车，本论文指的是外部集卡车。

交通系统中，只有少数路口安装了视频检测器，大部分路段、路口没有交通流检测装置，致使不能对交通流进行实时地检测分析；港区和码头前沿堆场指路标志数量少或不明确，司机不能及时确定前方道路信息；信号灯都是单点式，相互之间不能有效地配合协调，不利于车流的顺畅通行；出入口与主干道距离较近，渠化和信号控制功能不完善，容易造成车流与主干道车流相互干扰，发生拥堵。

## （3）后方堆场及集装箱物流中心

后方堆场是指用来临时存放进出口箱或重、空箱交接的场所。后方堆场根据不同的业务又分为不同的堆场，包括货主不能及时提走进口箱的转栈堆场，外贸货物需要进行运抵报关业务的堆场，进行拆箱分拨、查验检疫，拼箱等的堆场等。可见，后方堆场对码头企业的运营起着关键的作用<sup>[38-40]</sup>。

集装箱物流中心一般建在集装箱码头的后方、靠近码头外公路或铁路的位置，可以实现集装箱的运输、存储、配送、分拨和服务等一系列功能。

### 2.1.2 闸口子系统分析

闸口是集装箱卡车进出码头的关口，其服务的内容包括集港收箱单据的审核，查验箱体是否残损，箱体的重量，收箱单据、进入码头集卡及货物等相关信息的录入，离开码头集卡和货物等信息的审核以及货物交接单等票据的打印<sup>[29,41]</sup>。

闸口子系统具有服务随机性和排队等待两个特点。集卡到达码头闸口的随机性决定了闸口服务的随机性，又由于一个通道在同一时间只能为一辆集卡车服务，所以当集卡车的到达率大于通道服务的效率时，就会出现集装箱卡车在码头闸口排队的现象，如图 2.2 为入口闸口集卡排队的示意图。在集装箱码头通过设置缓冲区来缓解排队现象，但一些码头尤其是老码头缓冲区长度设置过短，根本无法满足集卡的需要，集卡排队已经严重影响了整个港区集疏运的效率，所以迫切需要对闸口交通需求智能预测进行研究。

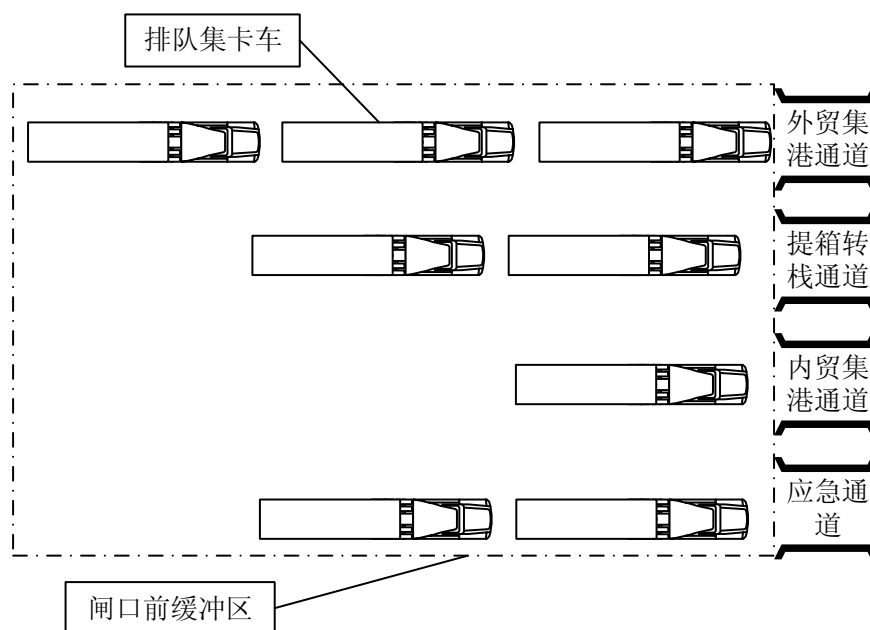


图 2.2 入口闸口排队示意图

通过以上分析可知，随机到来的集卡，进入或者驶离码头时要根据出入口通道的状态进行选择，接受服务或者排队等待。集装箱码头闸口子系统的作业过程图如图 2.3 所示。

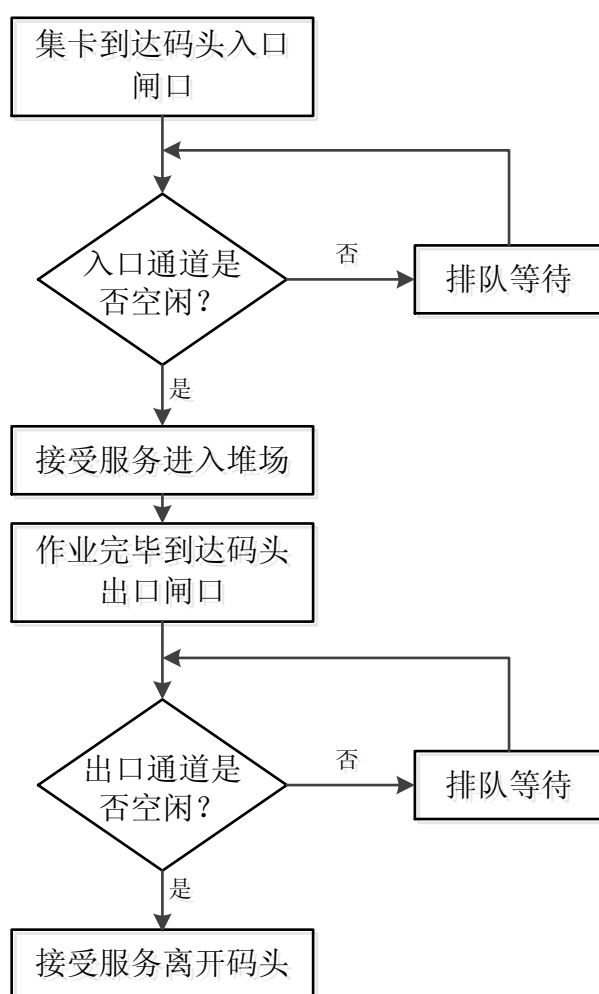


图 2.3 闸口子系统作业过程图

### 2.1.3 系统环境

港区集疏运交通系统置于一个规模庞大、复杂多变的大环境中，其交通量受到环境中多种因素的影响。第一，自然因素。海风、轻雾，涨潮落潮等自然因素，会影响船舶的航行速度，使得船舶的抵港时间偏离计划抵港时间，如果遇到重雾、暴雨等恶劣天气，即使是集装箱班轮也不会按照既定的船期抵港，会间接影响港区集疏运交通系统交通量的变化。第二，物流因素。（1）港口吞吐量。港口吞吐量是评判一个港口发展状况的重要指标，集装箱通过集卡运输，将吞吐量转化为了交通需求，可见，吞吐量对交通需求的影响具有决定性。吞吐量越大，交通需求就越大，港区集疏运系统就会越繁忙，进出码头闸口的交通量就越大。（2）船舶到港时间分布。船舶的到港时间直接决定了集装箱卡车进入码头闸口的时间，码头根据船舶的到港时间制定作业计划、免费堆存期限等，都会影响集装箱卡车抵达码头闸口的时间分布规律。（3）船型大小及船舶抵港密度。船型的大小在一定程度上决定了货物装卸量的多少，小型船舶，



货运量小，交通需求小，对港区交通量变化影响小，进出码头闸口的集卡数量少；大型船舶，货运量大，就会产生较大的交通需求，产生集港高峰，大量集卡会进出码头闸口。同样的，船舶抵港密度大，也会使集卡到达码头闸口的数量呈现高峰状态。所以，船型大小及船舶抵港密度会影响集卡抵达码头闸口的时间分布规律。(4) 集卡平均装载率。在吞吐量一定的情况下，集卡平均装载率的不同，会决定交通量的大小。

(5) 客户需求。客户需求大，则产生的货流大，交通量大；客户需求小，则产生的货流小，交通量小。第三，基础设施因素。(1) 港口海岸线越长，泊位利用率越高，则吞吐量越大，交通需求越大，交通量越大。(2) 港区集疏运条件影响了交通量的时间分布规律，原有的港区集疏运条件已经不能满足日益增长的物质文化需要引起的港口吞吐量的变化带来的道路交通压力，致使集港高峰，码头闸口的排队长度汇入主要干道，影响了其它码头公司的正常集港，进一步加大了集疏运交通系统的压力。

## 2.2 港区集疏运交通流特点分析

### 2.2.1 交通流构成

集装箱港区交通流的构成分为货运交通流和客运交通流两部分，以货运为主，客运是在货运的基础上派生出来的。交通流具体的构成如图 2.4 所示。

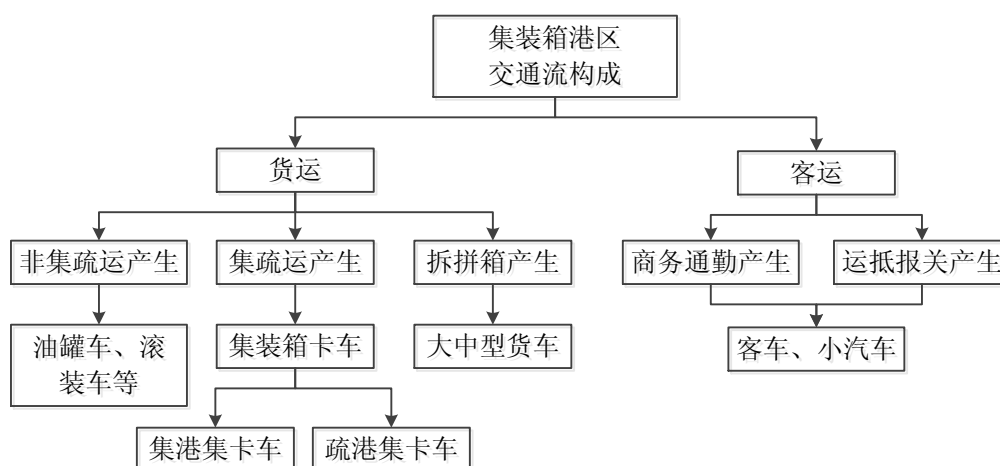


图 2.1 集装箱港区交通流构成图

货运交通流的产生由三部分构成：非集疏运产生、集疏运产生以及拆拼箱产生。港区的集疏运是以集装箱的形式进行的，主要是集装箱卡车，包括集港集卡车和疏港集卡车两部分，此外，由于拆、拼箱的需要，也会产生部分大型货车和中型货车，还有一部分正比于集装箱卡车和货车的总交通流的非集疏运车辆，包括油罐车、滚装车

和一些施工车辆。客运交通流的产生主要是由于港区工作人员的通勤，货主到堆场监装、联系业务、运抵报关以及其它商务和行政活动引发的部分客车流。

### 2.2.2 港区集疏运交通流生成过程

港区集疏运交通流的产生都是由于船舶的触发引起的，其基于船期表的集港交通流的生成过程见图 2.5 所示。

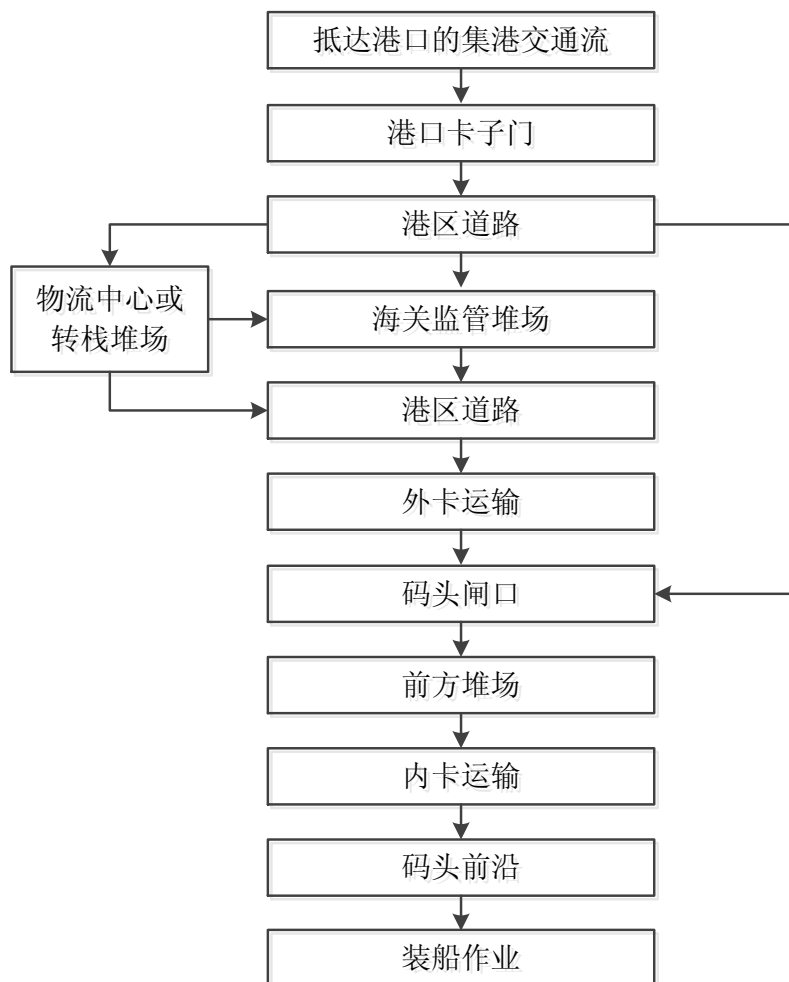


图 2.5 集港交通流生成过程

集港交通流的生成过程：已抵达港口卡子门的集卡车等车辆，进入港区道路，依据货物不同的货运特征进行集港作业。内贸集港不需要进行拼箱作业的，集港车辆直接由港区道路进入码头闸口，运至前方堆场，经内卡运至码头前沿进行装船作业；内贸集港需要进行拼箱作业的，集港车辆经港区道路将货物运至物流中心进行拼箱作业，完毕后由外卡经港区道路进入码头闸口，运输至前方堆场，然后通过内卡将集装箱运至码头前沿，进行装船作业；对于外贸集港，所有的集装箱都必须在海关监管的

堆场进行运抵报关业务，因此，需要进行拼箱作业的货物在物流中心拼箱完毕后，再运至海关监管堆场，办理运抵报关手续，然后由外卡经港区道路进入码头闸口，运输至前方堆场，再由内卡运输至码头前沿进行装船作业。

基于船期表的疏港交通流的生成过程见图 2.6 所示。

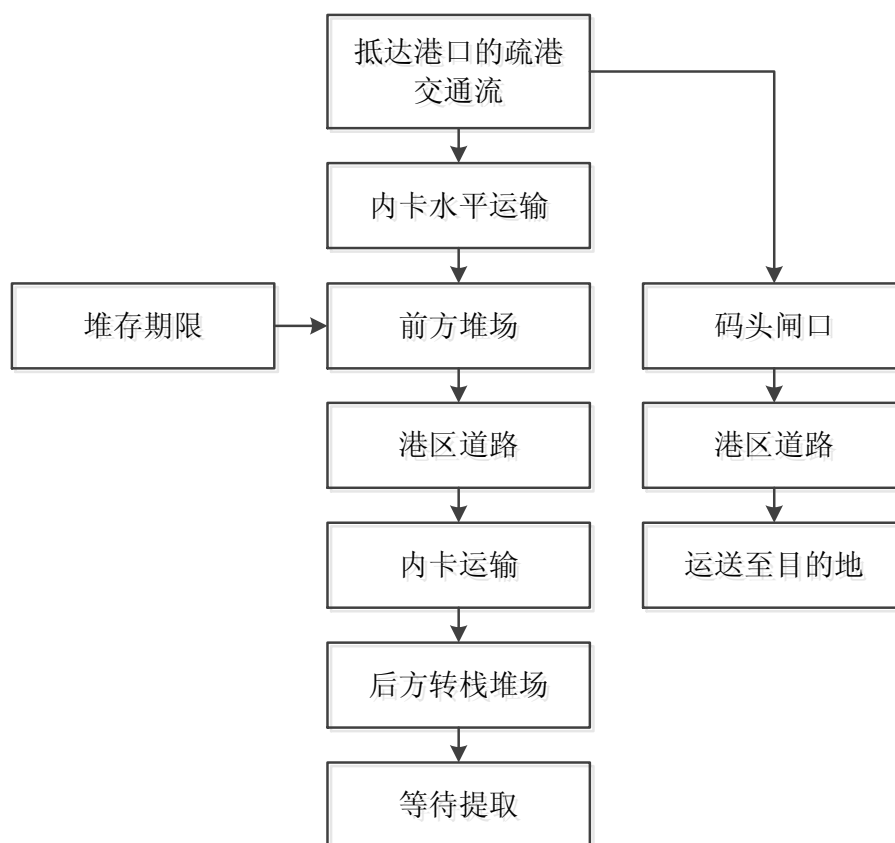


图 2.6 疏港交通流生成过程

疏港交通流的生成过程：疏港交通流分为直接疏港和转栈疏港两部分，直接进行疏港的所占比例很小，一般是一些危险品等特殊货物进行直提作业，办理完相关的审批手续后，直接从码头前沿运出码头，进入港区道路，离开港区，将货物运输至目的地；大部分集装箱，经过内卡水平运输至前方堆场，前方堆场有一定的堆存期限，期限内，客户可以直接到前方堆场进行提箱作业，超过堆存期限，内卡经港区道路，将集装箱运输至后方转栈堆场，等待提取。

### 2.2.3 交通流特点

由于港内的道路交通需求主要产生于货物运输的需要，因此没有固定的高峰时段，一般出现在装卸前后的时间段<sup>[42]</sup>。

综合以上分析，集装箱港区集疏运交通系统的交通流特点如下：

(1) 集卡交通量变化由船期表决定。

船舶到港引发了集装箱港区货运交通需求的产生，集卡车的抵港时间取决于船舶的到港时间，集卡车的交通量具有明显的随船舶到港规律变化的特点。由于码头作业计划的安排、集疏港计划的制定以及码头免费堆存期的限制，集港集卡车会在船舶到达前，进行集港作业；疏港集卡车会在船舶到达后，进行疏港作业。

(2) 强派生性。

港区的货运交通需求是由集装箱吞吐量通过集卡运输转化成的，同时，货运交通需求派生出了较大的客运交通需求，主要是商务通勤和运抵报关产生的大小客车和小汽车等。

(3) 不同于城市交通流的固定高峰时间段，可能拥堵的持续时间较长。

由于一般城市交通出行量的主体是上下班人群，具有在一定时间范围内上班到一定时间范围内下班的特点，所以城市交通在一天当中，会出现“早高峰”、“晚高峰”两个时段，交通量的小时变化曲线图呈现“马鞍形”。而集装箱船舶运营费用非常昂贵，为了减少费用支出，必须保证在尽可能短的时间内完成装卸任务，驶离港口，所以码头企业都是 24 小时、昼夜不断、连续进行作业的，这也就意味着集装箱卡车也是连续 24 小时抵达码头闸口的，所以集卡车交通流是连续的、不间断的，不会出现早、晚高峰和平峰现象，交通量小时变化规律不会明显。港区集疏运交通另一个特点是不同车型的时变规律不同，集卡车时变规律不同于城市交通，但是派生出的通勤客车具有与城市交通相同的早、晚高峰现象。

城市交通在早晚高峰会发生交通拥堵现象，且持续时间一般较短，港区集疏运交通由于连续性作业，易于发生交通拥堵，且拥堵时间也可能持续较长。

(4) 交通参与者少，以集卡为主，商务及上下班车辆为辅。

城市交通是基于人的出行，港区集疏运交通是基于货物运输产生的交通需求，由于运输主体的不同，二者在交通组成方面有明显的区别。城市交通组成中，交通工具多样，最突出的特点是小汽车数量多，所占比例大，步行者和自行车也占有一定比例；港区集疏运交通组成中，交通参与者少，主要是集卡车和大中型货车，较小比例的客车和小汽车用于商务通勤和上下班以及小部分的油罐车、滚装车、施工车辆等，基本没有步行者和自行车。并且，集卡车和大中型货车，车身较长，转弯半径较大，行驶速度慢，增加了车辆间的干扰，对港区集疏运系统交通影响大。

(5) 交通行为目的明确，车辆行驶路线相对固定。

城市交通道路网络结构复杂，起讫点众多，受多种因素的影响，司机对于路线的选择有很强的随意性。对于港区集疏运交通，由于进出港口的集卡车受作业流程和生产调度的约束，所以进出港口的集卡车目的性较强，起讫点明确。从码头功能布局角度来讲，后方堆场与码头企业存在较为固定的业务关系，进行集港作业时，码头企业

以运输成本最小化为目标，依据就近原则选择后方堆场。图 2.7 为天津港北疆港区连接后方堆场与码头的路网图，其中标注路段为主要集疏运路段，可见路线单一。

综合以上分析，港区集疏运交通在交通量时变规律、产生原因、分担方式、交通行为等方面与城市交通相比都有显著不同，进一步说明了对港区集疏运交通量的预测，不能简单地借用城市交通需求预测的宏观理论。



图 2.7 天津港北疆港区集疏运路网示意图

## 2.3 码头闸口交通需求智能预判系统设计

在对码头闸口子系统作业过程及港区集疏运交通流特点（决定码头闸口交通流特点和规律）分析的基础上，对码头闸口交通需求智能预判系统进行设计。

码头闸口是港区集疏运子系统之一，是连接码头和港区道路的关键节点，是集装箱卡车聚集和产生排队的地点。闸口发生集卡排队时，既影响集疏运秩序，又会扰乱码头内部作业秩序，引起装卸船作业与集疏港作业的冲突。通过以上分析可知，码头闸口通道数量的开放，完全依靠历史经验，没有依据港区交通的实际需要进行协调管理。集港高峰期间，港区交通混乱、码头闸口排队情况严重，码头企业制定作业计划失衡，严重影响到整个港区集疏运系统的工作效率，极大地降低了客户满意度。因此，迫切需要建立一种基于实时信息的码头闸口交通需求智能预判系统。

### 2.3.1 系统设计的基本要求

码头闸口和港区道路的交通需求呈现出“交通流随船舶作业变动”这一显著特征，本论文将集装箱码头闸口交通需求按照每一条班线分别进行预测，然后累加计算的方式。针对具体每一条班线可能的闸口交通需求分五部分：（1）实行预约集港方式的班线集港集卡，含集港前已在后方堆场或集装箱中心等办理完毕报关等口岸手续。显然该部分抵达集装箱码头闸口的时间是码头企业的控制问题，不再需要预测，仅需要直接累加计算即可。（2）没有实行预约集港方式班线的集卡，含集港前在后方堆场或集装箱中心等办理完毕报关等口岸手续的，需要进行预测。（3）疏港时需要到码头前方堆场拉“办理完手续集装箱”的空集卡，需要预测。（4）疏港时转栈部分集卡，由码头企业直接控制决策，不再需要预测，仅需要直接累加计算即可。（5）商务或其它车辆走专门通道，数量少不构成拥堵的原因，本文以一定比例确定，不予预测。

通过以上对码头闸口交通智能预判系统的分析，系统设计的基本要求如下：

（1）及时处理不确定性信息。在已有的研究中，只是利用历史信息-先验知识进行建模预测，而港区集疏运交通系统受各种环境因素影响，船舶的抵港情况、天气状况、客户需求等信息发生变化，都会影响下一时间段的交通量。因此，原有模型的预测结果可能不理想或者与实际情况大相径庭，该智能预测系统结合船期表等实时信息的变化，预测实时交通流状况，提高了预测精度。

（2）实现信息的实时交互。要实现交通量的智能预判，需要快速而准确的掌握与预测有关的所有信息，包括历史信息和实时信息，并对其进行处理。例如，船舶通过电子化预报，将船舶的实时调度系统与交通监控系统对接，一起考虑交通组织管理；建立交通诱导信息发布系统，将前方交通拥堵信息提供给进港车辆，方便其提前选择替代路径或另作其它计划安排。

（3）能够快速预测出码头闸口各个时间段交通需求，整个系统达到网络化要求。船舶、车辆等信息，通过数据库、知识库加以整合、处理，快速、准确地传递到了整个系统，只要输入历史班次的车辆信息和预测班次的实时信息，即可快速的预测出预测班次下一时间段的集卡车数量，充分体现了系统的网络化、智能化。

### 2.3.2 系统结构及原理

通过对码头闸口交通智能预判系统分析可知，对于一条班线需要进行预测的包括两部分，一是没有实行预约集港方式班线的集港集卡，含集港前在后方堆场或集装箱中心等办理完毕报关等口岸手续的，需要进行预测；二是疏港时需要到码头前方堆场拉“办理完手续集装箱”的空集卡，需要预测；其它部分由码头企业决定，直接进行累加，商务车等根据一定比例确定。需要预测的部分，通过建立的预测模型得到各个

时段的交通需求，与其它已知部分相加得到该班线各个时间段的交通需求。

集装箱码头闸口各个时间段的交通需求总量，是在一条班线预测的基础上，各条班线以同样的方法进行预测，然后累加求和得到的，其各时段的交通需求总量构成图如图 2.8 所示。

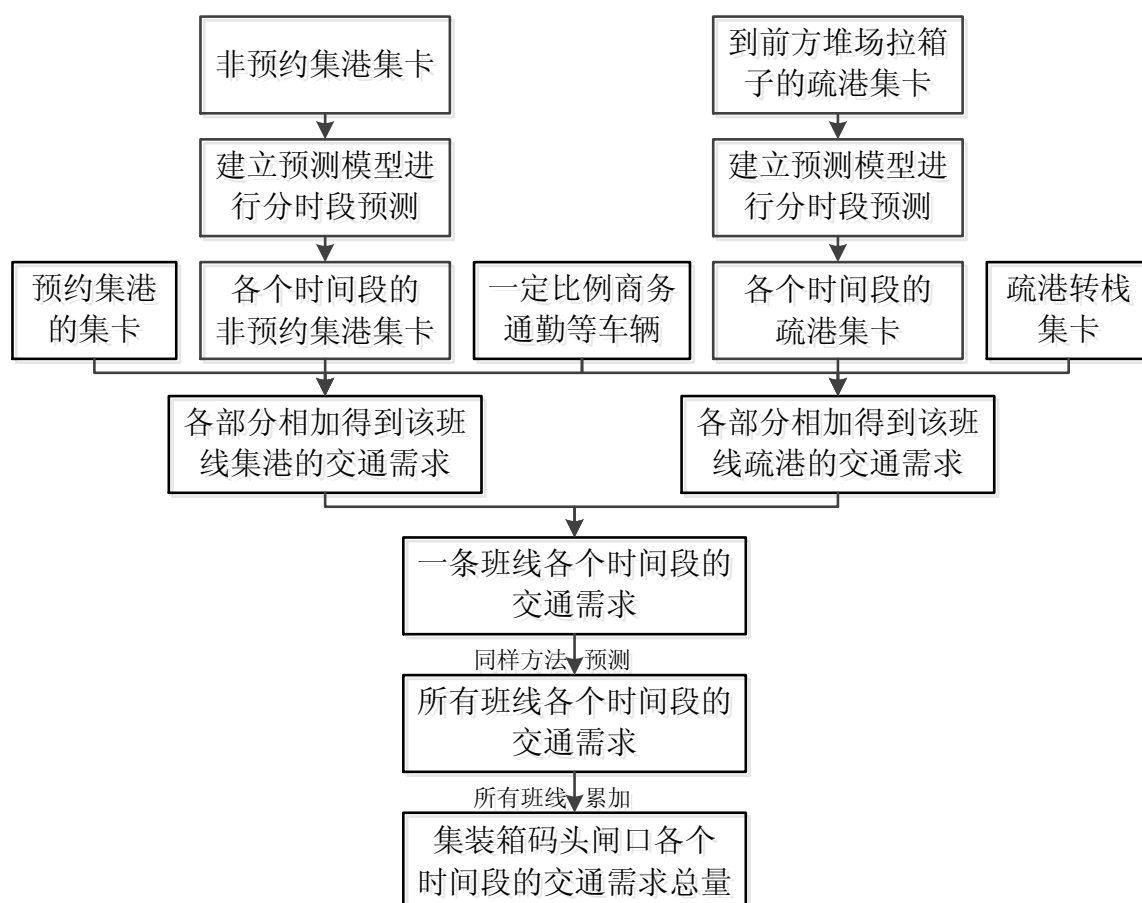


图 2.8 集装箱码头闸口各个时间段的交通需求构成图

智能预判系统，主要包括信息子系统、历史信息数据库、知识库、在线子系统、离线子系统等部分，集装箱码头闸口智能预判结构图如图 2.9 所示。

智能预判系统的基本原理为：信息子系统将获取的实时信息存储到历史信息数据库。数据库立足于数据自身的管理，将数据信息存入信息表当中，对数据进行科学地管理、及时地维护和严密地控制，以便快捷准确地访问和查询数据信息。知识库是通过从数据库中的大量数据中提取信息，并结合智能预测的相关理论知识，对信息进行处理、有序整合的基础上建立起来的。离线子系统和在线子系统构成了预测子系统，离线预测子系统调用离线预测模型，根据历史信息数据库和知识库确定离线预测模型及参数，得到离线预测结果。在线预测调用在线预测模型，根据离线预测模型及参数、实时信息，来更新在线预测模型中的参数，得到在线预测结果。将两种预测模

型的预测结果进行检验，将检验结果反馈到知识库，以供决策。

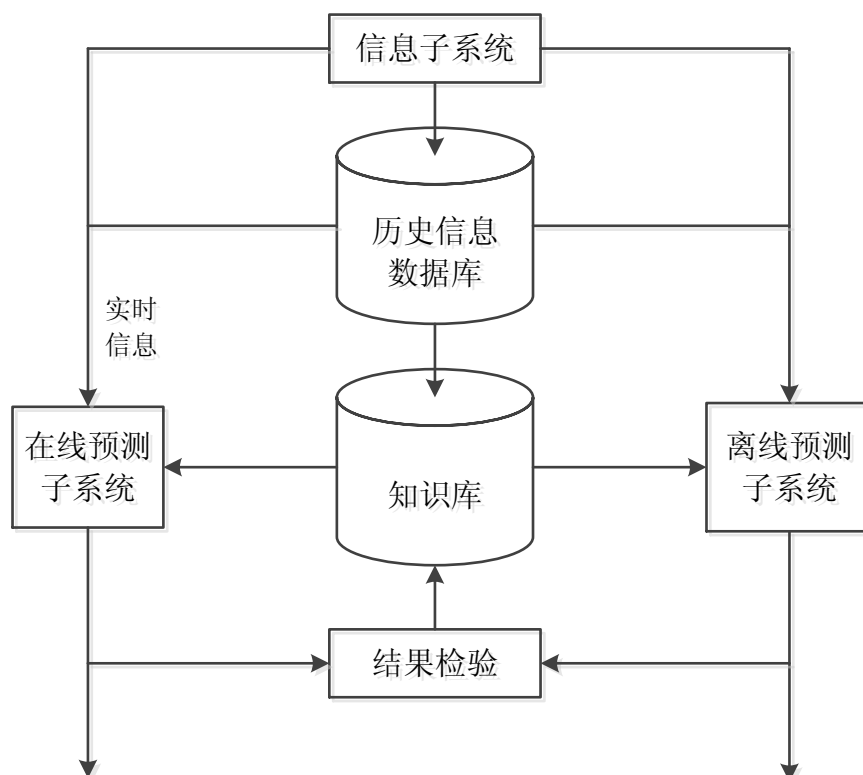


图 2.9 集装箱码头闸口交通需求智能预判系统结构图

### 2.3.3 智能预判系统数据库部分表

智能预判系统是建立在数据库、知识库、信息子系统等基础上的软件开发，数据库就是计算机存储、管理数据的“仓库”，将与集卡车车辆动态相关的数据放入“仓库”，实现信息的实时更新与调用，用于智能预判系统的预测。

下面列举了智能预判系统的部分数据库表，包括属性信息表，如用户表、集装箱码头表、码头堆场表、船期表，见表 2.1 到 2.3；历史信息数据库表，如抵港班次集卡抵达码头闸口时间分布表、一班次各个时间段集卡抵达码头闸口数量分布表，见表 2.4、2.5；实时信息数据库表，为即将抵港班次各个时间段集卡抵达码头闸口数量分布表，见表 2.6。



表 2.1 用户表

字 段 名	数据类型(长度)	是否允许为空	说 明
用户名	Varchar (20)	NOT NULL	用户名 (主键)
密码	Varchar (20)	NOT NULL	密码
权限	Varchar (20)	NOT NULL	权限

表 2.2 集装箱码头表

字 段 名	数据类型(长度)	是否允许为空	说明
编号	Varchar (12)	NOT NULL	编号 (主键)
名称	Varchar (24)	NOT NULL	名称
单位名称	Varchar (40)	NOT NULL	单位名称
联系电话	Varchar (20)	NOT NULL	联系电话
码头长度	Varchar (20)	NOT NULL	码头长度
码头前方堆场面积	Varchar (20)	NOT NULL	码头前方堆场面积
码头前方堆场设计容量	Varchar (20)	NOT NULL	码头前方堆场设计容量
码头前方堆场可扩容量	Varchar (20)	NOT NULL	码头前方堆场可扩容量
码头前方堆场一般容量	Varchar (20)	NOT NULL	码头前方堆场一般容量
码头前方堆场高峰容量	Varchar (20)	NOT NULL	码头前方堆场高峰容量
码头集卡数量 (一般)	Varchar (20)	NOT NULL	码头集卡数量 (一般)
码头集卡数量 (高峰)	Varchar (20)	NOT NULL	码头集卡数量 (高峰)
码头入口坐标	Varchar (20)	NOT NULL	码头入口坐标
码头入口道路编号	Varchar (20)	NOT NULL	码头入口道路编号
码头出口坐标	Varchar (20)	NOT NULL	码头出口坐标
码头出口道路坐标	Varchar (20)	NOT NULL	码头出口道路坐标

表 2.3 船期表

字 段 名	数据类型(长度)	是否允许为空	说明
船舶编号	Varchar (12)	NOT NULL	编号 (主键)
船舶名称	Varchar (24)	NOT NULL	船舶名称

船型	Varchar (20)	NOT NULL	船型
日期	Varchar (20)	NOT NULL	日期
预计到港时间	Varchar (20)	NOT NULL	预计到港时间
预计离港时间	Varchar (20)	NOT NULL	预计离港时间
目的港	Varchar (20)	NOT NULL	目的港

表 2.4 历史班次集卡抵达码头闸口时间分布

字 段 名	数据类型(长度)	是否允许为空	说明
编号	Varchar (12)	NOT NULL	编号 (主键)
车号	Varchar (24)	NOT NULL	车号
入闸时间	Varchar (20)	NOT NULL	入闸时间
箱号	Varchar (20)	NOT NULL	箱号
班次	Varchar (20)	NOT NULL	班次

表 2.5 一班次各个时间段集卡抵达码头闸口数量分布

字 段 名	数据类型(长度)	是否允许为空	说 明
编号	Varchar (20)	NOT NULL	编号 (主键)
时间段	Varchar (20)	NOT NULL	时间段
各时间段 集卡数量	Varchar (20)	NOT NULL	各时段集卡数量

表 2.6 即将抵港班次各个时间段集卡抵达码头闸口数量分布

字 段 名	数据类型(长度)	是否允许为空	说 明
编号	Varchar (20)	NOT NULL	编号 (主键)
时间段	Varchar (20)	NOT NULL	时间段
各时间段 集卡数量	Varchar (20)	NOT NULL	各时段集卡数量
预测时间段	Varchar (20)	NOT NULL	预测时间段集卡数量

### 2.3.4 软件演示界面

根据以上章节的系统分析、系统设计的要求, 智能预判系统软件的一些演示界面如下所示。

## 1. 登录界面

登录界面包括系统名称、用户名、密码、确定、重置和取消部分，点击“重置”或“取消”，可以清除输入的用户名和密码。具体如图 2.10 所示。

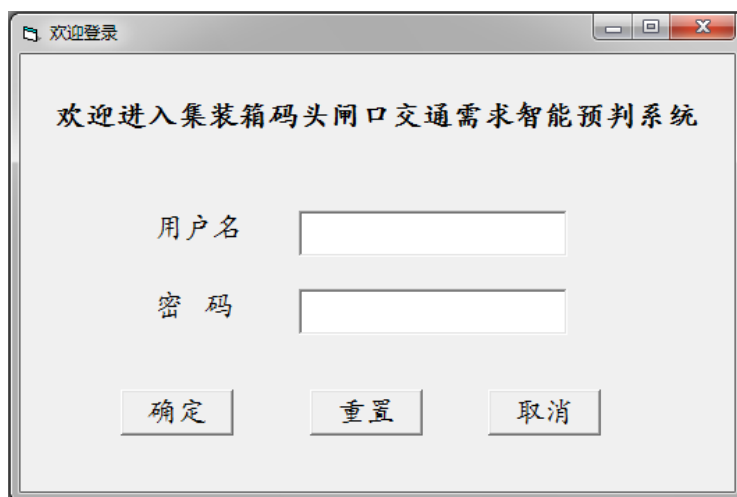


图 2.10 智能预判系统登录界面

## 2. 登录进入智能预判系统软件主界面

输入用户名和密码点击“确定”即可进入集装箱码头闸口交通需求智能预判系统主界面，该界面工具栏分为“文件”，“智能预判”，“帮助”，“退出”四部分，“文件”菜单下可以进行文件的“新建”，“打开”，“保存”，“另存为”，“导入”，“导出”操作，具体如图 2.11 所示。



图 2.11 智能预判系统主界面

### 3. 用户名或密码错误界面

输入的用户名或密码错误，则不能进入智能预判系统主界面进行相关操作，会弹出图 2.12 所示的界面，点击“确定”返回智能预判系统登录界面，重新输入。

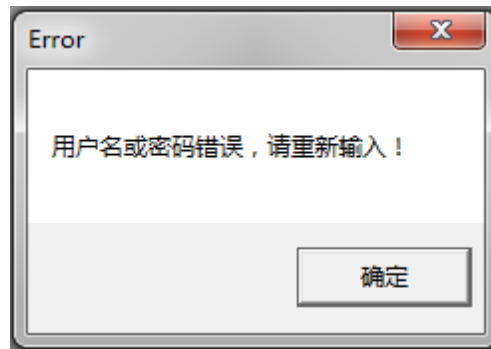


图 2.12 用户名或密码输入错误时的界面

### 4. “文件” - “新建”

点击“文件”菜单下的“新建”，弹出新建对话框，点击“输入”，输入集装箱码头等基本属性信息；点击“退出”，返回系统主界面，如图 2.13、2.14 所示。



图 2.13 新建界面

图 2.14 集装箱码头基本信息界面

5.智能预判界面

登录到智能预判系统主界面后，点击“智能预判”，即弹出“智能预判系统”界面，输入需要预测班线的条数，点击“确定”，即可进入一条班线预测的界面，选择需要预测的集卡，如图 2.15、2.16 所示。

图 2.15 智能预判界面

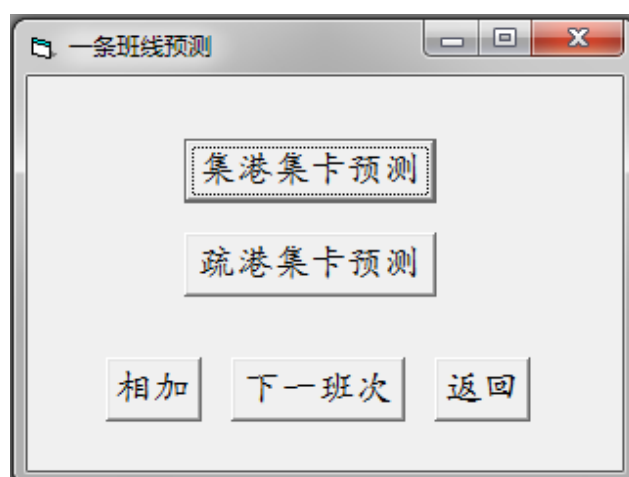


图 2.16 一条班线预测界面

点击“集港集卡预测”，即弹出集港集卡智能预测界面，包括“预约集港集卡预测”、“非预约集港集卡预测”、“其它车辆（一定比例予以折算）”三部分，如图 2.17 所示；点击“非预约集港集卡预测”进入预测界面，包括“输入历史信息”、“输入实时信息”、“预测”、“返回”四部分，如图 2.18 所示。

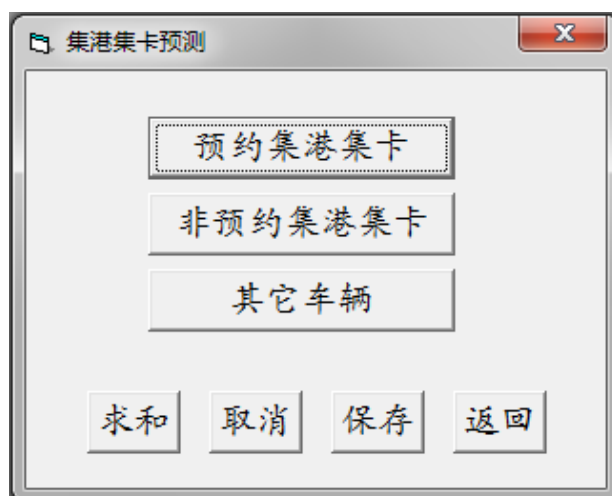


图 2.17 集港集卡预测界面

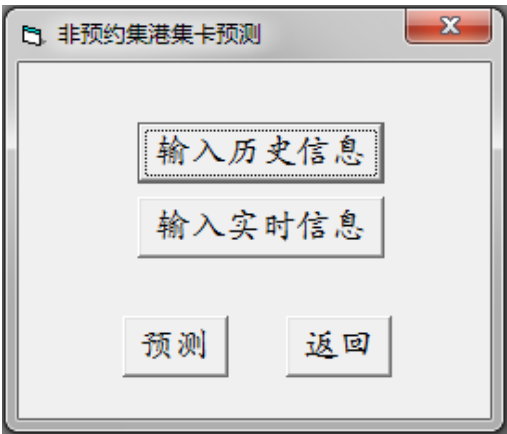


图 2.18 非预约集港集卡预测界面

进入非预约集港集卡预测界面后，可以进行历史信息与实时信息的输入。点击“输入历史信息”进入历史信息界面，如图 2.19 所示；点击“输入实时信息”进入实时信息界面，如图 2.20 所示。输入相关信息后点击“保存”，将数据保存至数据库，点击“取消”，可以重新输入，点击“返回”，返回非预约集港集卡预测界面。



图 2.19 历史班次信息界面



图 2.20 实时信息界面

相关信息输入完毕保存至数据库后，点击“返回”，返回到非预约集港集卡预测界面，点击“预测”，进行预测，返回到集港集卡预测界面，点击“求和”、“保存”，得到集港集卡各个时间段的预测结果；点击“返回”，进行疏港集卡的预测。如图 2.21 所示。其它步骤同集港集卡预测，不再一一列举。

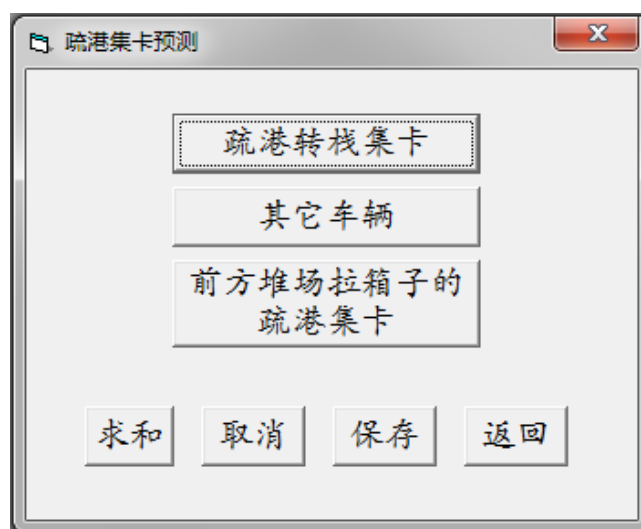


图 2.21 疏港集卡预测界面

疏港集卡预测预测完毕后，点击“求和”、“保存”，保存至数据库，点击“返回”，返回至一条班线预测界面，点击“相加”，完成一条班线的预测，点击“下一班线”，可以进行下一班线的预测，所有班线预测结束后，点击“输出”，则输出码头闸口各个时间段的集卡需求总量，如图 2.22 所示。

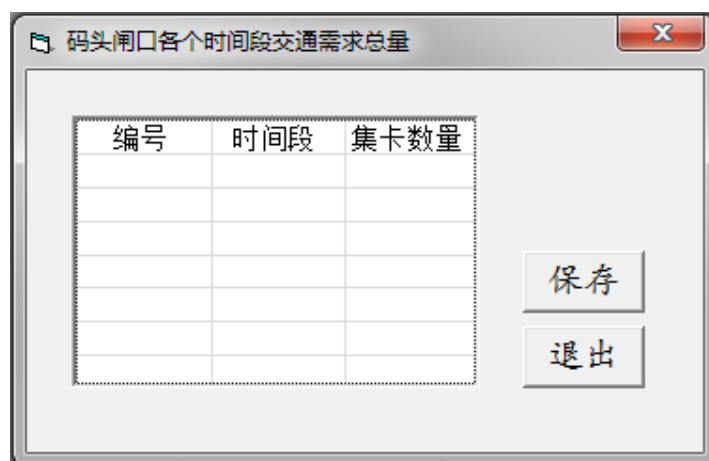


图 2.22 输出界面



## 第三章 基于曲线拟合和 SVM 的集装箱码头闸口交通需求预测

本章建立了基于曲线拟合的概率统计模型,运用 PDFM 法确定出了集装箱码头闸口交通量各个时间段的概率,并建立了基于 SVM 的集装箱码头闸口交通需求(集卡总量)预测模型,利用二者之积得到了各时间段的集卡车数量,为第四章、第五章奠定了基础。

该预测模型的建立考虑了两方面的内容:一是每次集港卡车总量的预测,根据历史班次信息,进行的时间序列预测;二是所有历史班次各时间段抵达集卡总数分布以及已经抵达集卡各时间段的历史信息。即预测模型不仅涉及概率分布模型,还涉及具体各时间段的集卡车数量,等于总集港量与该各时间段概率之积。

### 3.1 闸口交通需求曲线拟合的概率统计

#### 3.1.1 数据的处理

码头闸口交通需求呈现出“交通流随船舶作业变动”这一显著特征,即集疏运车辆到达码头的的时间具有一定的概率分布。通过获取的实际数据,分析码头闸口交通流呈现的规律性特征。为了确定集装箱码头闸口交通量的概率分布情况,运用概率分布拟合方法(PDFM)进行曲线拟合,其数据处理过程如下:

(1) 根据集卡车与船舶班线之间的服务关系,将包括车牌号与所运载箱子的箱号的集卡车信息,按照班次进行分组,记录每辆集卡车的入闸时间。

(2) 对调查数据进行处理,分别汇总出集港、疏港班次的集卡车总量以及各个时间段(1 个小时、2 个小时、3 个小时或其它时间间隔)的集卡车数量。

(3) 将每个班次的集港时间、疏港时间等分为若干时间段,并将每个班次的集港车辆总数和疏港车辆总数标准化为 100,等权重累加各组标准数据,获得集港、疏港交通流的特征图。

#### 3.1.2 闸口交通流概率分布

曲线拟合是指对于平面上的离散点,用连续曲线近似刻画或者比拟,寻求两者之间内在规律确定解析表达式的一种数据处理方法。大连海事大学的杨忠振教授等对天津港北疆港区的多个集装箱码头公司进行了实地调查,通过对调查数据进行概率分布

拟合，得到集装箱港区的集港、疏港集卡车抵达港口的分布规律<sup>[3-4]</sup>。

集港集卡车抵港规律判定：通过集港集卡交通流的抵港时间分布图，定性判断抵港规律服从 Beta 分布，利用统计量法和图示法进行检验，误差在可接受范围内，则判断集港集卡车抵港时间规律服从 Beta 分布，如图 3.1 所示。

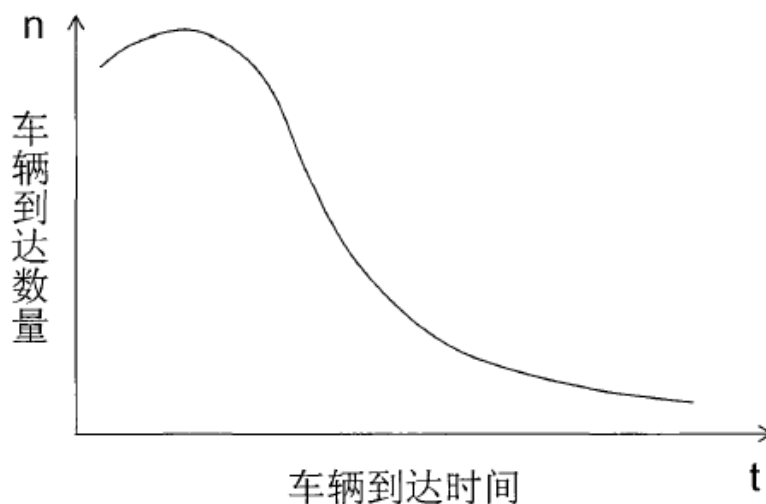


图 3.1 集港交通流抵达港口时间分布示意图

疏港集卡车抵港规律判定：疏港集卡车抵港规律服从 Weibull 分布，判断过程同上，不再叙述，其曲线特点如图 3.2 所示。

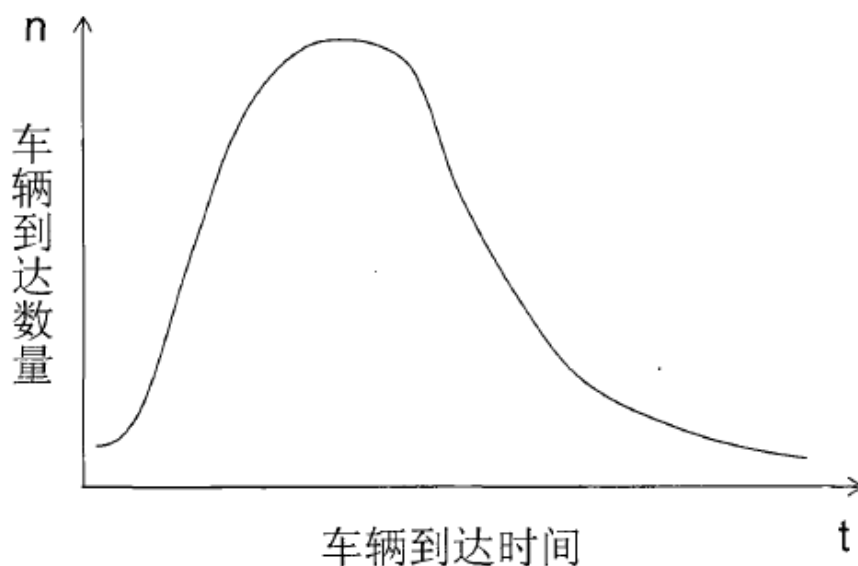


图 3.2 疏港交通流抵达港口时间分布示意图

本章借鉴这种思想，假定集港集卡车抵达码头闸口的时间规律服从 Beta 分布，疏港集卡车抵达码头闸口的时间规律服从 Weibull 分布，运用 PDFM 法通过对样本

数据的曲线拟合，证明抵达码头闸口的时间分布规律并不服从 Beta 分布和 Weibull 分布，即港区道路交通是复杂网络，呈现出时间空间分布的不均衡性，在进行交通量预测时，要对到达的地点进行区分，不能笼统的只对抵达港口的集卡车辆进行建模研究。并且通过曲线拟合得到的预测结果与真实值相差较大，也证明了只利用历史信息进行预测的不科学性。

### 3.2 基于 SVM 的闸口交通需求总量预测

本论文对某班次集卡车总量的预测，采用的是支持向量机回归（Support Vector Regression, SVR）算法建立的非线性预测模型。支持向量机的核心内容是以统计学理论中的结构风险最小化原则为根据，旨在把输入变量通过合理选取内积函数定义的非线性变换映射到高维特征空间中，在高维特征空间中确定输入变量与输出变量之间的非线性关系，实现在有限样本情况下的机器学习算法<sup>[43]</sup>。SVM 算法在数学上归结为求解具有不等式约束条件的凸二次规划问题，不仅能得到样本数趋于无穷大时的最优值，而且最终得到已有信息条件下的最优解，即所得到的解一定是全局最优解。SVM 算法专门针对数据为小样本的情况，可以巧妙处理维数高的难题，算法的复杂程度和样本维数之间没有联系，对于非线性问题的解决有很好的适用性，具备良好的学习推广能力<sup>[44-47]</sup>。

本论文中的时间序列是指同一班线每一班次的集卡总量在时间上发展变化的一系列数量表现，即按照时间的先后顺序而形成的一个动态序列，为了减少对经验的依赖，达到准确预测下一班次集卡总量的目的，采用了具有非线性预测能力和专门针对小样本预测情况的支持向量机预测方法，建立的某班次集卡车总量的 SVM 时间序列预测模型，具体步骤如下：

（1）对某一班次的集卡车总量进行预测，根据历史班次集港车辆信息，建立时间序列 $\{x_1, x_2, \dots, x_l\}$ ，考虑历史班次信息对下一班次集卡总量的影响，建立基于 SVM 的集卡车总量动态预测模型，寻求输入值与输出值二者之间的映射关系：

$$y = \hat{f}(x) = \sum_{i,j=1}^l (a_i - a_i^*) K(x_i, x_j) + b \quad (3.1)$$

将时间序列预测问题转化为样本数据函数回归问题。

其中， $y$ 为预测班次的集卡车总量， $a_i$ 、 $a_i^*$ 为 Lagrange 乘子， $l$ 为样本个数， $K(x_i, x_j)$

为核函数， $b$ 为阈值。

(2) 为了避免样本数据中数值较大的值控制训练过程, 需要将所有样本数据规范到[0,1]或者[-1,1]区间内, 用来减少训练过程中数值计算的复杂度, 即对样本数据进行归一化处理。

$$x'_i = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (3.2)$$

其中,  $x'_i$ 表示归一化后的数据,  $x_i$ 表示归一化前的样本数据,  $x_{max}$ 和 $x_{min}$ 表示样本数据的最大值和最小值, 为了保证预测精度以及所有样本在两者之间, 一般会选取比最大值偏大, 最小值偏小作为最大值和最小值, 具体由样本的数据进行确定。

(3) 建立以 $\varepsilon$ -不敏感函数为损失函数的 SVR 模型:  $\varepsilon$ -SVR。

(4) 根据 Mercer 定理, 选取适当的核函数及参数, 将低维的输入空间中线性不可分问题转化为高维特征空间中的线性可分问题, 实现非线性化计算。

(5) 根据确定的参数, 转化为二次规划问题, 通过 Matlab 软件编程实现求解过程。

$$\begin{aligned} \text{Max } W(a, a^*) & \sum_{i,j=1}^l (a_i - a_i^*)(a_j - a_j^*)K(x_i, x_j) + \sum_{i=1}^l (a_i - a_i^*)y_i - \varepsilon \sum_{i=1}^l (a_i + a_i^*) \\ \text{s.t } & \begin{cases} \sum_{i=1}^l (a_i - a_i^*) = 0 \\ 0 \leq a_i, a_i^* \leq C, i = 1, 2, \dots, l \end{cases} \end{aligned} \quad (3.3)$$

求出 Lagrange 乘子及 $b$ 值, 确定回归函数 $\hat{f}(x)$ 。

(6) 根据训练好的动态预测模型, 对下一班次的集卡总量进行预测。需要注意的是预测结果并不是真实的预测值, 由于预测前对输入数据进行了归一化操作, 所以对于输出数据需进行反归一化处理, 还原实际值。

$$x_i = x'_i(x_{max} - x_{min}) + x_{min} \quad (3.4)$$

(7) 按照 (1) - (6) 步骤预测出所有班线预测班次的集卡车总量。

### 3.3 各时间段的闸口交通需求预测

各个时间段的预测是在总量预测和概率分布完成的基础上进行的, 其值为二者之积, 对于某一班线, 即

$$q_{ij} = Q_i \times \bar{p}_j \quad (i = 1, 2 \dots; j = 1, 2 \dots) \quad (3.5)$$

其中 $q_{ij}$ 表示第 $i$ 个班次的第 $j$ 个时间段的集卡车数量; $Q_i$ 表示某一班线第 $i$ 个班次的集卡总量的预测值; $\bar{p}_j$ 表示第 $j$ 个时间段的曲线拟合概率,即平均概率。

利用式(3.5),分时间段计算出该班次需要预测的集卡车数量,再加上各个时间段预约集港的集卡车和一定比例商务车辆,得到该集港班次在各个时间段的闸口交通需求。以同样的预测方法计算出所有班线、班次的交通需求,然后进行累加,即得到集装箱码头闸口各个时间段的交通需求总量。

由于每种预测方法都有各自的特点和适应范围,因此如何评判一种预测方法的好坏,是非常关键的问题。通过阅读相关预测方面的文献,发现基本都是通过预测精度的评价指标进行判断的<sup>[45,48-50]</sup>。

目前,大多数文献普遍采用均方误差 MSE (Mean Square Error),均方根误差 RMSE (Root Mean Square Error),平均绝对误差 (Mean Absolute Error) 以及平均绝对百分比误差 MAPE (Mean Absolute Percentage Error) 对预测精度进行评价。公式如下所示:

$$\text{平均绝对误差: MAE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (3.6)$$

$$\text{均方误差: MSE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (3.7)$$

$$\text{均方根误差: RMSE} = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (3.8)$$

$$\text{平均绝对百分比误差: MAPE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| * 100 \quad (3.9)$$

在有些文献中采用归一化均方误差 NMSE (Normalized Mean Square Error) <sup>[50]</sup>, 进行评价。

$$\text{NMSE} = \frac{(n-1) \sum_{i=1}^n ((y_i - \hat{y}_i)^2)}{n \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (3.10)$$

其中 $y_i$ 代表第 $i$ 个时间段的真实值, $\hat{y}_i$ 代表第 $i$ 个时间段的预测值, $\bar{y}$ 表示真实值的平均值, $n$ 代表预测数值的长度。

## 3.4 天津港应用分析

### 3.4.1 天津港基本现状

天津港是中国最大的人工港,按照码头所处的地理位置分为北疆港区、南疆港区、东疆港区等部分。其中北疆港区以集装箱和件杂货作业为主,南疆港区以干散货和液体散货作业为主,东疆港区是以集装箱为主的保税物流区<sup>[51-52]</sup>。本论文以现在天津港问题特别严重的北疆港区集装箱码头为研究对象进行分析,集装箱码头靠岸船舶以班轮为主,对国际航线各公司班轮的到港时间一般来说多集中于周末,货物集疏港的主要方式为公路运输。

北疆港区共有五个集装箱码头公司,分别为天津港集装箱码头有限公司(TCT)、东方海陆集装箱码头公司、欧亚国际集装箱码头公司、联盟国际集装箱有限公司、五洲国际码头公司。北疆港区集装箱码头位置分布如图 2.7 所示。

根据实际的调研结果,仅五洲国际集装箱公司在闸口外设置了足够完善的停车等待区外,其他集装箱码头公司的闸口外停车等待区较为有限,均无法容纳等待集港的车辆,造成集卡占道排队以及向后蔓延的现象。集装箱码头闸口处排队情况严重的主要是老码头公司:东方海陆、TCT(27、28 段泊位)。老码头公司闸口基本没有缓冲区,仅能容下几辆集卡排队等待,东方海陆集港车辆都在东堤路排队等待,长度达到了 374 米,严重影响了东堤路以及东堤路与二号路交叉口的通行能力,如图 3.3 所示;TCT(27、28 段泊位)排队情况最为严重,从东堤路、四经路一直到码头闸口,排队长度达到了 572 米,如图 3.4 所示。



图 3.3 东方海陆码头闸口排队现象



图 3.4 TCT 码头闸口排队现象

闸口是集装箱进出码头的门口与通道,码头闸口交通拥堵造成了港区集疏运系统的区域性拥堵,特别是在集港高峰期间,主干线道路被集卡大面积占用,连带其它路

段也受到干扰,导致集港作业根本无法顺利进行,严重影响了港区集疏运交通系统正常的交通秩序,因此,较准确地预测码头闸口交通需求是码头企业内部作业人员安排,岸桥场桥机械、泊位等的资源合理配备以及相互间协调问题的依据,也是港口管理部门对闸口交通进行及时疏导,维持港区集疏运交通系统正常运作的关键。

### 3.4.2 数据的获取

本章以天津港东方海陆集装箱码头公司的一条非预约集港班线为例,进行分析,选取需要提前 6 天集港的班次作为实验数据,以下章节同。连续采集到该码头公司一条班线,不同班次每一个集卡进行集港作业时抵达码头闸口的时间信息,包括车号、入闸时间、箱号、班次,其原始数据具体见表 3.1 所示。

表 3.1 部分集卡抵达码头闸口时间

车号	入闸时间	箱号	班次
NMJ21483	2013/1/7 11:21:51	RFCU4005562	ZHX1302S
TJAQ0112	2013/1/7 11:29:54	HCIU8003097	ZHX1302S
HBBU3638	2013/1/7 12:09:38	XINU8159638	ZHX1302S
HBB63383	2013/1/7 12:45:40	UESU4595158	ZHX1302S
AHKC6943	2013/1/7 13:02:58	SAXU4910733	ZHX1302S
AHKB4950	2013/1/7 18:35:29	HCIU8004637	ZHX1302S
TJAA3510	2013/1/7 19:45:05	GESU6170056	ZHX1302S
.....	.....	.....	.....
HBJ43751	2013/1/17 3:48:27	GVCU2206894	ZHX1303S
SDN16716	2013/1/17 3:41:24	CLHU3618798	ZHX1303S
HNPJ0827	2013/1/17 4:47:51	CRSU1460100	ZHX1303S
HNPJ0827	2013/1/17 4:48:19	CLHU3680480	ZHX1303S
TJAL6998	2013/1/17 6:11:14	GESU5757809	ZHX1303S
TJAD3271	2013/1/17 12:12:53	SNBU8108808	ZHX1303S
SDN13667	2013/1/17 12:29:23	ZGXU6000326	ZHX1303S
.....	.....	.....	.....
HBJ40087	2013/2/22 8:37:47	GESU5974039	ZHX1307S
HBJ41532	2013/2/22 9:02:37	GESU5956781	ZHX1307S
HNJ70980	2013/2/22 9:05:12	SEGU1283218	ZHX1307S
HBD97911	2013/2/22 10:01:10	SEGU1283291	ZHX1307S
HBDJ9494	2013/2/22 10:02:16	XINU8088473	ZHX1307S

TJA81162	2013/2/22 10:10:37	SNTU8010472	ZHX1307S
.....	.....	.....	.....
HNPE7099	2013/5/22 6:07:35	TGHU2851100	ZHX1319S
AHKD3348	2013/5/22 6:27:37	XINU1439025	ZHX1319S
TJAA1066	2013/5/22 6:31:30	ZGXU2030467	ZHX1319S
AHKG3106	2013/5/22 6:33:38	PHLU2052476	ZHX1319S
HBA77229	2013/5/22 6:36:28	SNCU2702400	ZHX1319S
HNPG1494	2013/5/22 6:38:45	XINU1486080	ZHX1319S
AHK36581	2013/5/22 6:41:26	GESU1326362	ZHX1319S
.....	.....	.....	.....
TJAM3338	2013/5/27 14:30:29	RFCU2172107	ZHX1320S
TJAM3399	2013/5/27 16:01:49	TGHU3165418	ZHX1320S
TJAM3172	2013/5/27 16:03:29	HCIU2094171	ZHX1320S
TJAM3396	2013/5/27 16:06:41	RFCU2047785	ZHX1320S
TJAM5826	2013/5/27 16:11:08	WSDU4051829	ZHX1320S
HBGB0763	2013/5/27 16:13:19	RFCU2049978	ZHX1320S
HBG89289	2013/5/27 16:18:14	FCIU4189058	ZHX1320S
HBGB0762	2013/5/27 16:26:51	GESU3495320	ZHX1320S
HBG52756	2013/5/27 16:27:12	ZGXU2031571	ZHX1320S

### 3.4.3 各时间段概率分布

将实际数据进行处理，选取需要提前 6 天集港的班次作为实验组，共 10 个班次。处理后的集装箱集港班次及集卡总量信息见表 3.2 所示。按照每 3 个小时为一个时间段对每个班次各个时间段抵达码头闸口集卡数量进行统计，共划分为 48 个时间段，其中一个班次的的数据见表 3.3 所示。

表 3.1 数据预处理后的集港班次及集卡总量信息

序号	班次	集港总量/veh	集港天数/d
1	ZHX1303S	175	6
2	ZHX1307S	143	6
3	ZHX1308S	222	6
4	ZHX1311S	261	6
5	ZHX1313S	232	6
6	ZHX1318S	204	6



7	ZHX1319S	230	6
8	ZHX1320S	233	6
9	ZHX1322S	236	6
10	ZHX1332S	262	6

表 3.2 一班次各时间段集卡抵达码头闸口数量

时间	时间段							
/d	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-24
1	1	0	0	0	0	0	8	2
2	2	0	0	0	0	1	18	3
3	3	7	0	0	6	1	10	3
4	4	13	4	3	6	18	11	12
5	5	7	11	10	10	8	11	11
6	6	9	7	5	3	0	0	2

选取需要提前 6 天集港的班次中的前 9 个班次作为实验组，第 10 个班次作为检验组，第 10 个班次的真实值见表 3.4 所示。

表 3.4 第 10 班次各时间段抵达码头闸口集卡车数量真实值

时间	真 实	时间	真 实	时间	真 实	时间	真 实
段/h	值/veh	段/h	值/veh	段/h	值/veh	段/h	值/veh
1	0	13	3	25	1	37	15
2	0	14	2	26	1	38	19
3	0	15	6	27	3	39	28
4	0	16	3	28	3	40	20
5	0	17	3	29	5	41	27
6	0	18	0	30	11	42	29
7	1	19	0	31	8	43	2
8	0	20	7	32	9	44	0
9	1	21	4	33	1	45	0
10	0	22	13	34	3	46	0
11	0	23	16	35	2	47	0
12	0	24	5	36	11	48	0

将前 9 个班次每个班次的集港时间均等分为 48 个时间段，并将每个班次集港车辆总数标准化为 100，等权重累加后得到集港集卡车抵达码头闸口的交通流特征图，如图 3.5 所示，呈现出“中间相对高、两端相对低”的特征。其分布示意图见图 3.6。

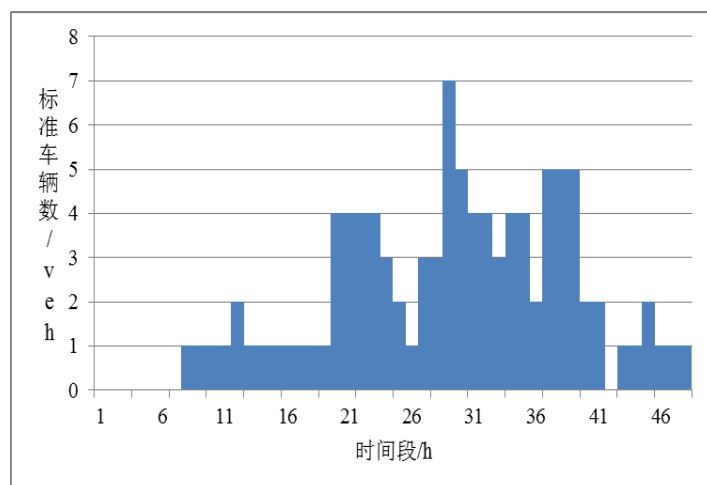


图 3.5 集港集卡车抵达集装箱码头闸口时间规律分布图

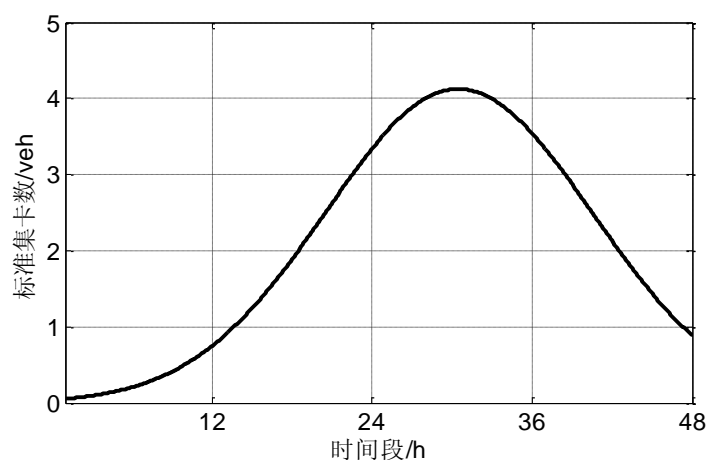


图 3.6 集港集卡车抵达码头闸口时间规律分布示意图

根据杨忠振教授等的数据处理的思想，将每个时间段的集卡数量除以 100，即可得到该时间段的集卡到达概率。根据前 9 个班次的集港数据，得到的概率分布，具体见表 3.5 所示，各时间段车辆到达码头闸口的累加概率见表 3.6 所示。

表 3.5 前 9 个班次得到的概率分布

时间 段/h	概 率 分布/%	时间 段/h	概 率 分布/%	时间 段/h	概 率 分布/%	时间 段/h	概 率 分布/%
1	0	13	1.29	25	2.01	37	5.02
2	0	14	1.48	26	1.42	38	4.84
3	0	15	1.24	27	2.48	39	5.28
4	0.19	16	1.31	28	3.36	40	2.19
5	0.33	17	1.23	29	6.75	41	1.57
6	0.39	18	0.48	30	4.99	42	0.46
7	0.29	19	1.24	31	4.1	43	0.56
8	0.95	20	4.12	32	4.56	44	0.73
9	0.56	21	3.87	33	2.95	45	2.21
10	0.59	22	4.34	34	4.05	46	0.84
11	0.87	23	3.6	35	3.46	47	0.5
12	1.79	24	2.45	36	2.21	48	0.85

表 3.6 集装箱集港车辆各时间段到达码头闸口的累积概率

时间 段/h	累 积 概率/%	时间 段/h	累 积 概率/%	时间 段/h	累 积 概率/%	时间 段/h	累 积 概率/%
1	0	13	7.25	25	34.62	37	79.97
2	0	14	8.73	26	36.04	38	84.81
3	0	15	9.97	27	38.52	39	90.09
4	0.19	16	11.28	28	41.88	40	92.28
5	0.52	17	12.51	29	48.63	41	93.85
6	0.91	18	12.99	30	53.62	42	94.31
7	1.2	19	14.23	31	57.72	43	94.87
8	2.15	20	18.35	32	62.28	44	95.6
9	2.71	21	22.22	33	65.23	45	97.81
10	3.3	22	26.56	34	69.28	46	98.65
11	4.17	23	30.16	35	72.74	47	99.15
12	5.96	24	32.61	36	74.95	48	100

由表 3.2 可得, 第 10 班次的集卡总量为 262 辆, 根据表 3.5 的概率分布得到第 10 个班次各时间段的预测值, 具体见表 3.7。

表 3.7 第 10 班次各时间段预测值

时间 段/h	预 测 值/veh	时间 段/h	预 测 值/veh	时间 段/h	预 测 值/veh	时间 段/h	预 测 值/veh
1	0	13	3	25	5	37	13
2	0	14	4	26	4	38	13
3	0	15	3	27	6	39	14
4	0	16	3	28	9	40	6
5	1	17	3	29	18	41	4
6	1	18	1	30	13	42	1
7	1	19	3	31	11	43	1
8	2	20	11	32	12	44	2
9	1	21	10	33	8	45	6
10	2	22	11	34	11	46	2
11	2	23	9	35	9	47	1
12	5	24	6	36	6	48	2

第 10 班次预测值与实际值的比较见图 3.7 所示, 预测数据绝对误差曲线图见图 3.8 所示。

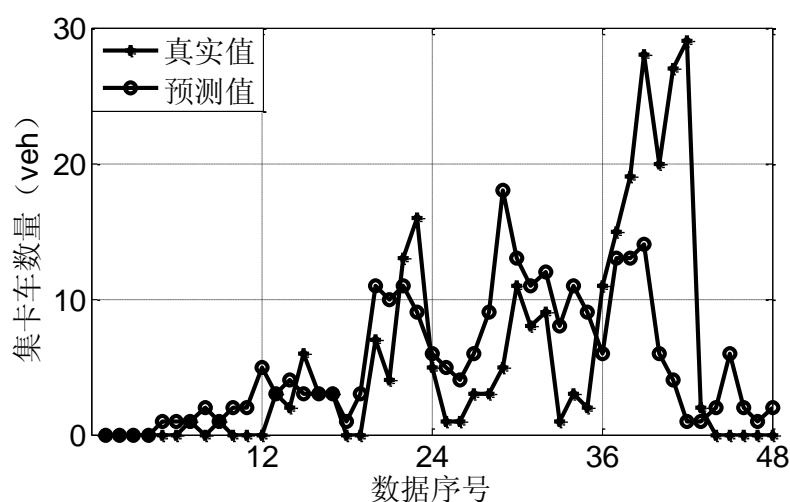


图 3.7 预测数据和实际数据比较图

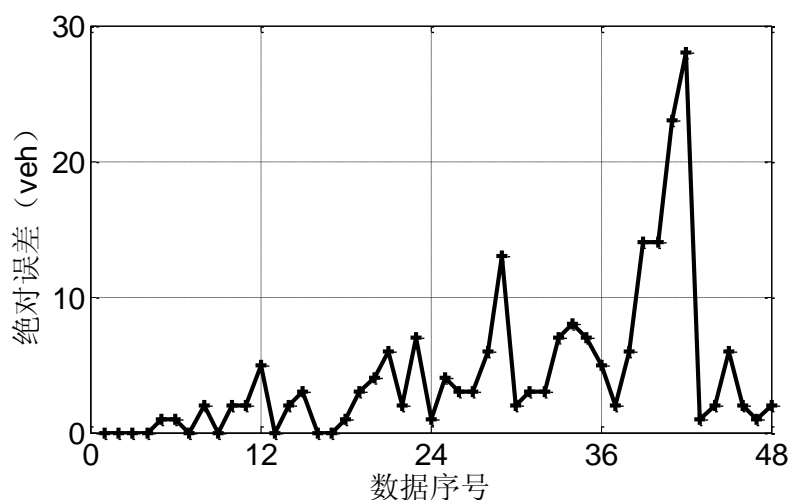


图 3.8 预测数据绝对误差曲线图

将预测值与实际值代入评价指标计算公式，得  $MAE=4.342$ ， $MSE=49.74$ ， $RMSE=1.02$ 。

由图 3.5、图 3.6 交通流的趋势明显可以看出不服从 Beta 分布，充分体现出了港区道路交通呈现出的时空分布不均衡性。由图 3.7、图 3.8 容易看出，预测值和实际值差距较大，从中间时间段到结束时间段最为明显，由评价指标的数值也可以看出，预测值误差比较大。

#### 3.4.4 集装箱码头闸口交通需求总量预测

将需要提前 6 天集港的班次的原始数据进行预处理，处理后的集装箱集港班次及集卡总量信息见表 3.2 所示。

根据历史班次信息-已经集港班次的集卡总量，具体实验共有 9 个班次作为训练样本，每 5 个班次作为一组时间序列，其中前 4 个班次作为输入，第 5 个班次作为输出，以此类推，共有 5 个检验样本。经过多次训练比较，核函数选用选取 Gauss 径向基核函数，比较满意的参数组合为  $\{C, \delta^2, \epsilon\} = \{500, 0.5, 0.001\}$  作为预测模型，

将输入数据和输出数据进行归一化处理，利用已经训练好的预测模型预测第 10 班次集卡总量，并将最后结果进行归一化逆操作，得到最后的预测结果，将预测结果代入预测精度评价指标，验证该模型的有效性。

训练样本中，预测数据与实际数据的比较见图 3.9 所示，检验样本相对百分比误差曲线图见图 3.10 所示。

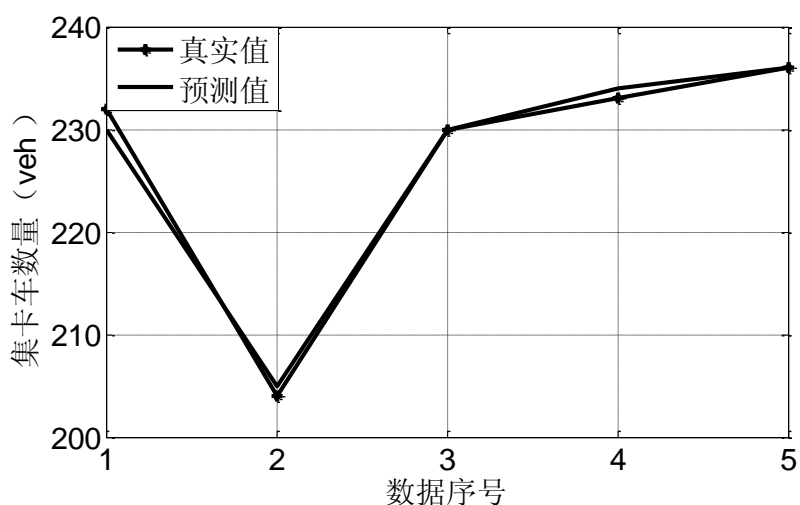


图 3.9 预测数据和实际数据比较图

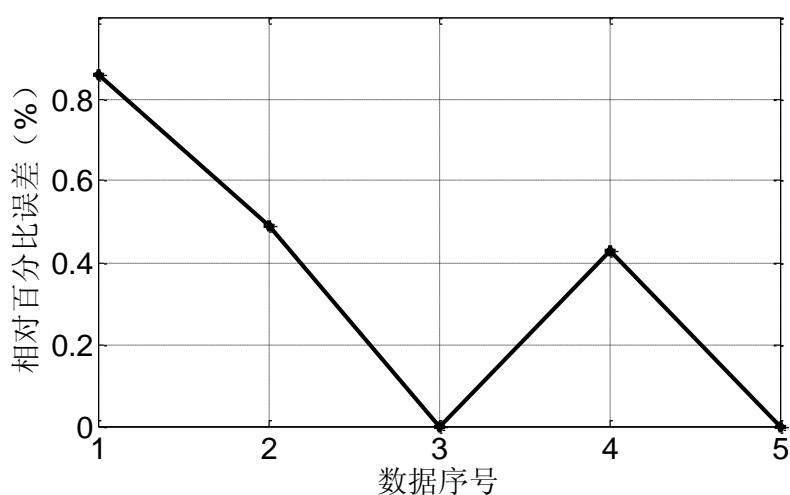


图 3.10 检验样本误差曲线图

将预测值与实际值代入评价指标计算公式，得  $MAE=0.8$ ， $MSE=1.2$ ， $RMSE=0.49$ ， $MAPE=0.35\%$ 。由图 3.10 可以明显看出，检验样本的相对百分比误差都在 1% 范围之内，充分说明基于 SVM 建立的时间序列预测模型具有较高的预测精度，能够满足实际需要。利用训练好的模型预测对第 10 个班次的集卡总量进行预测，其值为 236 辆。

### 3.4.5 各时间段集卡数量预测

将 3.4.4 预测的第 10 个班次的集卡总量与 3.4.3（表 3.5）的概率分布相乘，得到第 10 个班次各时间段的集卡到达数量，如下表 3.8 所示。

表 3.8 PDFM 法第 10 班次各时间段抵达码头闸口集卡车数量预测值

时间 段/h	预 测 值/veh	时间 段/h	预 测 值/veh	时间 段/h	预 测 值/veh	时间 段/h	预 测 值/veh
1	0	13	3	25	5	37	12
2	0	14	3	26	3	38	11
3	0	15	3	27	6	39	14
4	0	16	3	28	8	40	5
5	1	17	3	29	16	41	4
6	1	18	1	30	12	42	1
7	1	19	3	31	10	43	1
8	2	20	10	32	11	44	2
9	1	21	9	33	7	45	5
10	1	22	10	34	10	46	2
11	2	23	8	35	8	47	1
12	4	24	6	36	5	48	2

运用 PDFM 法预测的第 10 班次各时间段的集卡车数量与各时段真实集卡车数量的比较见图 3.11 所示。

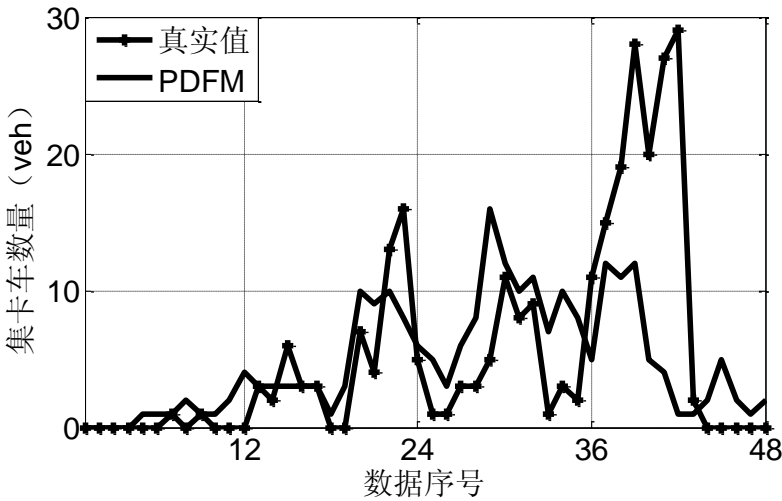


图 3.11 PDFM 法预测数据和实际数据比较图

从图 3.11 可以看出，预测值与真实值之间偏差较大，充分说明了只利用历史信息不能很好地对码头闸口各个时间段的交通需求进行预测。

将此预测数据与表 3.4 真实数据代入评价指标，得  $MAE=4.125$ ， $MSE=48.79$ ， $RMSE=1.01$ ，可见预测精度并不高。

从以上分析可知，基于 **SVM** 的码头闸口总量预测具有很高的准确性，能够满足实际工程的需要，而由曲线拟合得到的码头闸口集卡的概率分布误差较大，由此充分说明了港区道路交通呈现出时空分布的不均衡性，并不是任何地点的集港集卡都服从 **Beta** 分布，以及只利用历史信息进行预测的不科学性。

### 3.5 小结

本章根据码头闸口的交通流产生机理-交通流随船舶作业变动这一特性，借鉴杨忠振教授等概率分布拟合的思想，进行了实例分析，证明了港区道路交通呈现出时空分布的不均衡性，并不是任何地点的集港集卡都服从 **Beta** 分布，并且通过实际值与预测值的比较，证明了仅利用了历史信息进行预测的不科学性。建立 **SVM** 总量预测模型，在此基础上，给出了预测班次在各时间段闸口的集港集卡数量，作为第四章、第五章的对比实验，为其利用实时信息进行预测奠定了基础。



## 第四章 基于实时信息的码头闸口交通需求智能预测

本章是在第三章运用 PDFM 方法得到概率分布的基础上,利用实时信息进行概率纠偏,重新确定概率分布,最后与第三章 SVM 模型预测的总量相乘,得出基于实时信息的码头闸口各个时间段的集卡车数量,并通过实例验证了该方法的有效性。

### 4.1 基于实时信息的概率修正思路

第三章是基于历史信息-先验知识,由曲线拟合得到的概率分布只是一个平均概率。本章基于实时信息的智能预测,实际上是在第三章 PDFM 方法上进行的概率修正。预测修正就是利用新的信息获得精度更高的预测值。

根据历史信息-已经抵港的每个班次的每个时间段均有一个集卡抵达码头闸口的实际概率和平均概率,将两个概率相减,即为概率偏差,以这些偏差构成时间序列;对于实时信息-即将要到达的班次,第一个时间段的概率纠偏只能依据历史数据的概率偏差,第二个时间段的概率纠偏,可以依据上一个时间段的概率偏差进行修正,以此类推。最后得到基于实时信息的概率纠偏后的修正概率分布,与第三章预测的总量相乘,得到基于实时信息的码头闸口各个时间段的集卡车数量。

概率分布具体的预测修正思路:以一条需要提前六天集港的非预约集港班线为例,按照每 3 小时为一个时间段,共 48 个时间段进行说明。设有  $m$  个集港班次抵达码头闸口的历史数据,  $p_{ij}(i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, 48)$  为第  $i$  个班次的第  $j$  个时间段抵达码头闸口的概率,各个时间段的平均概率为  $\bar{p}_j$  (已知,第三章 PDFM 法得到)。对于需要预测修正的第  $m + 1$  班次,各个时间段抵达码头闸口的概率为  $p_{m+1,1}$ ,

$p_{m+1,2}, \dots, p_{m+1,j}$  (实时信息),则第  $i$  个班次的第  $j$  个时间的概率偏差  $\Delta p_{ij} = p_{ij} - \bar{p}_j$ ,

要预测修正第  $j + 1$  时间段的概率  $\bar{p}_{m+1,j+1} = \bar{p}_{j+1}$ ,在采集到  $p_{m+1,j+1}$  后,即可得到  $\Delta p_{m+1,j+1}$ ,从而修正  $\bar{p}_{m+1,j+2} = \bar{p}_{j+2}$ ,以此类推。基于实时信息的在线预测算法原理示意图如下图 4.1 所示。

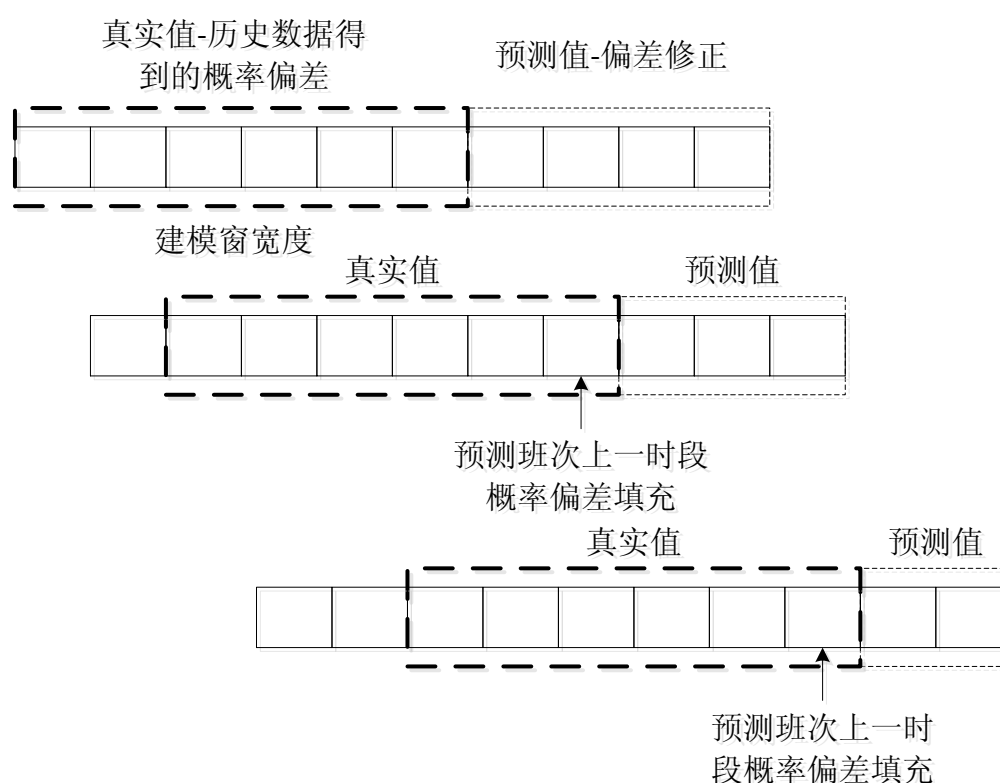


图 4.1 基于实时信息的在线预测算法原理示意图

由图 4.1 可以看出，本预测模型对数据进行了分时间段的预测更新，每一个小格代表一个预测时间段，本预测模型按照每 3 小时更新一次，固定建模窗宽度，用新抵港班次的真实概率偏差作为预测值，取代前一时刻的预测值，以此类推，来保证预测的精度，达到减少预测和建模累计误差的目的。

## 4.2 基于 ANN 的概率修正

采用 BP 神经网络对概率进行预测纠偏，建立了基于实时信息的 BP 神经网络概率修正模型。

BP 神经网络的核心内容是依据最小均方的原则，达到网络输出层误差平方和最小的目的。BP 神经网络训练学习的过程是：开始先对神经元之间的权值和阈值进行随机初始化，通过正向传播，训练样本输入网络会得到相对的一个输出结果，将输出结果与期望值二者进行比较，若二者之间存在的偏差超出了设定的误差，则误差信号沿原来路径反向传播回来，此时各层神经元的权值和阈值为了减小误差同步修正，正向传播的输出计算与反向传播的权值修正反复交替进行，直到网络的实际输出与期望值之间的误差值达到设定要求，确定出权值和阈值，从而得到满意的输出值<sup>[53-54]</sup>。

根据以上 BP 神经网络的基本思想, 该模型采用前向型神经网络, 建立了一种单层的 BP 人工神经网络建立的概率修正模型, 其具体步骤如下:

(1) 已经抵港的历史班次集卡概率分布为  $p_{1,1}, p_{1,2}, \dots, p_{1,48}; p_{2,1}, p_{2,2}, \dots, p_{2,48}; \dots; p_{m,1}, p_{m,2}, \dots, p_{m,48}$ , 对于需要预测修正的第  $m+1$  班次, 各个时间段抵达码头闸口的概率为  $p_{m+1,1}, p_{m+1,2}, \dots, p_{m+1,j}$  (实时信息), 平均概率为  $\bar{p}_j$ , 两者做差, 得到概率偏差:

$$\Delta p_{ij} = p_{ij} - \bar{p}_j (i = 1, 2, \dots, m+1; j = 1, 2, \dots, 48) \quad (4.1)$$

$\{\Delta p_{ij}\}$  构成新的时间序列  $\{y_t\}$ ,  $t = 1, 2, 3, \dots, m \times j + (m-1) \times (48-j) = n$ , 即共有  $n$  个数据样本。

(2) 对处理后的时间序列  $\{y_t\}$ , 建立 BP 神经网络预测修正模型, 即

$$\hat{y}_t = f(y_{t-1}, y_{t-2}, \dots, y_{t-p}) \quad (4.2)$$

其中  $p$  为输入变量的个数, 共有  $n-p-1$  个训练样本。从样本数据中确定输入输出样本, 并进行归一化处理。初始化连接权值及阈值, 通过正向传播得到输出结果, 通过反向传播, 不断修正权值, 直到误差小于预先设定的值, 即网络收敛, 或者达到了设定的最大学习次数, 学习结束, 得到预测值。

(3) 利用 (2) 得到预测值  $\hat{y}_t$ , 即预测的概率偏差, 与原平均概率相加, 即为修正概率。

$$\bar{p}_{j+1}^* = \bar{p}_{j+1} + \Delta p_{j+1} \quad (4.3)$$

其中  $\bar{p}_{j+1}^*$  为第  $m+1$  班次第  $j+1$  时间段的修正概率,  $\bar{p}_{j+1}$  为曲线拟合得到的平均概率,  $\Delta p_{j+1}$  为预测得到的概率偏差。

(4) 得到第  $j+1$  时间段的实际到达概率后, 按照 (1) - (3) 步骤进行下一时间段的修正, 以此类推。

## 4.3 应用分析

### 4.3.1 概率修正

以一条需要提前六天集港的非预约集港班线为例，共计 10 个班次，每个班次按照每 3 小时为一个时间段，共 48 个时间段进行实例分析。

通过前两节的分析，本章建立了 BP 神经网络概率修正模型，前 9 个班次的数据为训练样本，共 432 个数据，某一班次的概率偏差见表 4.1 所示，利用训练好的 BP 网络修正第 10 个班次的概率。

在本实例中，设计了一个单隐层的三层 BP 神经网络结构，输入层神经元的个数为 8 个，根据 Kolmogorov 定理，得到隐层神经元的个数近似为 17 个，并根据实际训练过程中的不断调整，最终确定网络的拓扑结构为 8-17-1。各层的传递函数为 tansig 函数，训练函数为 trainlm 函数，权值和阈值的学习函数为 learnngdm 函数，训练目标值为  $10^{-4}$ 。其中，第 18 个时间段的训练误差图见图 4.2 所示。

表 4.1 某一班次的概率偏差

时间 段/h	概 率 偏差/%	时间 段/h	概 率 偏差/%	时间 段/h	概 率 偏差/%	时间 段/h	概 率 偏差/%
1	0	13	-0.15	25	1.42	37	-1.02
2	0	14	1.95	26	0.86	38	1.44
3	0	15	-1.24	27	-1.91	39	1.01
4	-0.19	16	-0.74	28	0.07	40	4.67
5	-0.33	17	1.05	29	0.11	41	-1
6	-0.39	18	-0.48	30	1.3	42	-0.46
7	-0.29	19	1.05	31	-2.39	43	-0.56
8	2.48	20	1.02	32	-4.56	44	2.13
9	0.58	21	3.56	33	-2.38	45	5.22
10	1.7	22	-0.91	34	-4.05	46	-0.27
11	-0.3	23	-0.74	35	-2.32	47	-0.5
12	-1.79	24	0.41	36	-2.21	48	-0.85

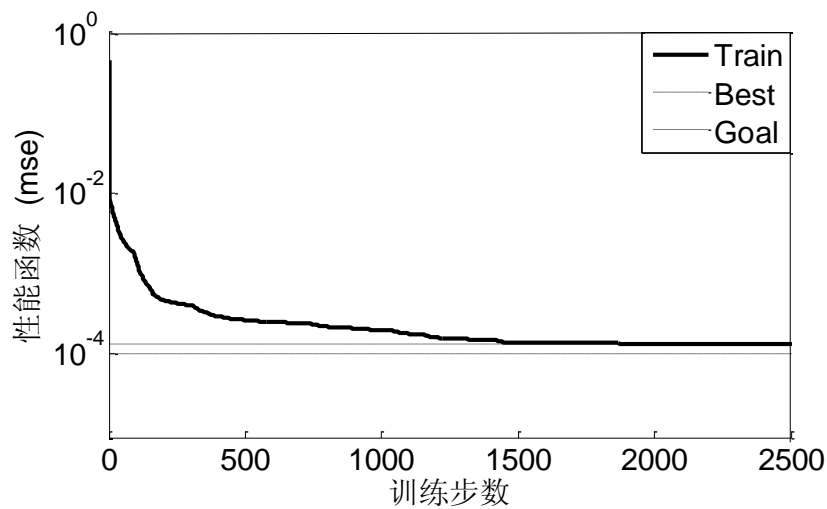


图 4.2 神经网络训练误差曲线图

由上图可以看出，该训练误差曲线并没有达到设定的训练目标值，但是已经很接近，且训练误差已经很小为 0.00013253，数量级已经达到  $10^{-4}$ ，由此判定网络训练良好，可用于概率修正。

利用训练好的网络，对概率进行纠偏，概率修正结果见表 4.2 所示。

表 4.2 概率修正结果

时间 段/h	概 率 修正/%	时间 段/h	概 率 修正/%	时间 段/h	概 率 修正/%	时间 段/h	概 率 修正/%
1	-0.07	13	0.95	25	1.62	37	5.4
2	-0.03	14	1.19	26	0.68	38	5.4
3	0.32	15	1.14	27	1.85	39	8.05
4	0.1	16	1.79	28	2.64	40	5.15
5	-0.03	17	1.19	29	5.82	41	5.73
6	0.14	18	0.26	30	4.58	42	6.16
7	0.3	19	1.15	31	3.28	43	0.28
8	0.74	20	3.58	32	3.43	44	-0.24
9	0.37	21	3.15	33	2.05	45	1.21
10	0.34	22	3.74	34	2.91	46	0.46
11	0.43	23	4.33	35	1.67	47	0.1
12	1.31	24	2.76	36	2.54	48	0.08

将第三章基于 SVM 建模预测的集卡总量与修正的概率相乘,得到基于实时信息的码头闸口各个时间段的集卡数量。具体结果见表 4.3 所示。

表 4.3 概率修正的各个时间段的集卡数量

时间 段/h	预 测 值/veh	时间 段/h	预 测 值/veh	时间 段/h	预 测 值/veh	时间 段/h	预 测 值/veh
1	0	13	2	25	4	37	13
2	0	14	3	26	2	38	13
3	1	15	3	27	4	39	19
4	0	16	4	28	6	40	12
5	0	17	3	29	14	41	14
6	0	18	1	30	11	42	15
7	1	19	3	31	8	43	1
8	2	20	8	32	8	44	0
9	1	21	7	33	5	45	3
10	1	22	9	34	7	46	1
11	1	23	10	35	4	47	0
12	3	24	7	36	6	48	0

将此预测数据与表 3.4 真实数据代入评价指标(见 3.3 节,以下同),得  $MAE=2.58$ ,  $MSE=28.77$ ,  $RMSE=0.60$ 。

从评价指标结果可以看出,经过实时信息修正的预测结果,误差有所减小但仍然偏大,也就是说只是利用实时信息进行概率纠偏并不能从根本上改善预测性能。

### 4.3.2 实例结果比较及分析

两种预测方法的预测结果,如下图 4.3 所示。从图中可以看出,利用实时信息进行概率修正的预测结果明显优于曲线拟合的结果,其变化趋势与真实值大致相同,数值也更加接近真实数据。

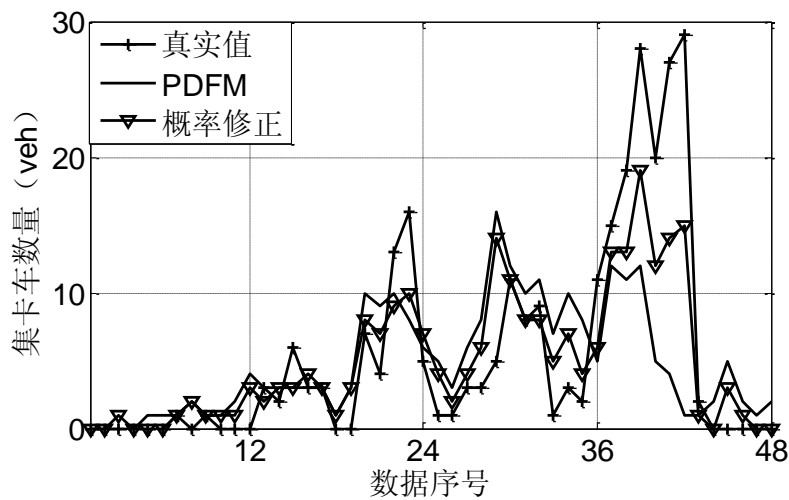


图 4.3 预测数据和实际数据比较

表 4.4 评价指标的比较

预测方法	评价指标		
	MAE	MSE	RMSE
PDFM	4.13	48.79	1.01
概率修正	2.58	28.77	0.6

两种预测方法的评价指标见表 4.4 所示。评价指标的数值越小，表明预测结果越精确，从表中可以看出，基于实时信息修正过的各评价指标数值都小于曲线拟合的评价结果，进一步证明了基于实时信息概率修正的智能预测更适应于码头闸口交通需求的预测，在两种方法中其更具可行性，但预测性能并不显著。

4.4 小结

本章详细阐述了基于实时信息的概率预测修正思路，并介绍了 BP 神经网络的学习算法，在此基础上，建立了基于实时信息的 BP 神经网络概率修正模型。通过实例分析及结果比较，证明了该方法优于 PDFM 法。但是该方法忽略了同一班线的每一班次各个时间段的交通需求在整个时间序列上所呈现出的季节性这一特点，下一章将作进一步分析。





## 第五章 基于季节性 ANN 的智能预测

本章是在上述两种预测方法的基础之上，充分利用历史班次信息与实时信息，以集装箱码头闸口交通需求智能预判系统设计为依据，而建立的集装箱码头闸口交通需求智能预测模型即基于季节性 ANN 的智能预测模型，该模型不需要对总量进行预测，而是在充分利用实时信息和考虑同一班线每一班次在整个时间序列上所呈现出的季节性这一特性的情况下，利用建立的动态更新辨别模型，直接得到各个时间段的集卡车数量，再加上按照计划预约集港的和一定比例商务车等，来确定各个时间段的闸口交通需求这一预测思路。

### 5.1 季节性时间序列

季节性时间序列是指由于自然因素、社会制度及风俗习惯等季节因素的影响，引起时间序列存在明显周期变化的时间序列<sup>[55-57]</sup>。季节周期可以是一周、一个月、一个季度或者一年等，在一周期内有规律地呈现出上升、下降等运动的交替现象。

若季节性波动过于显著，即非平稳季节性时间序列，数据中蕴含的规律就会被遮盖或者混淆，给预测分析带来极大困扰；若主观上忽视季节性波动特征，直接对序列建立模型，在很大程度上会使没有意义的噪音在拟合函数上体现，这样就会有“欠拟合”或者“过拟合”的情况发生，也会因此而降低拟合函数的泛化能力。因此，必须剔除这些周期性变量，展示虽然不规则或非周期性但更为重要的因素<sup>[55,58]</sup>，季节差分是时间序列分析中消除季节性特征的常用方法。

### 5.2 码头闸口交通需求 SANN 建模方法设计

#### 5.2.1 季节差分-BP 模型设计

在建立模型之前，首先通过季节差分处理数据来消除季节性特征，将其平稳化，然后在进行季节差分-BP 的模型设计。

季节差分-BP 建模步骤如下图 5.1 所示：

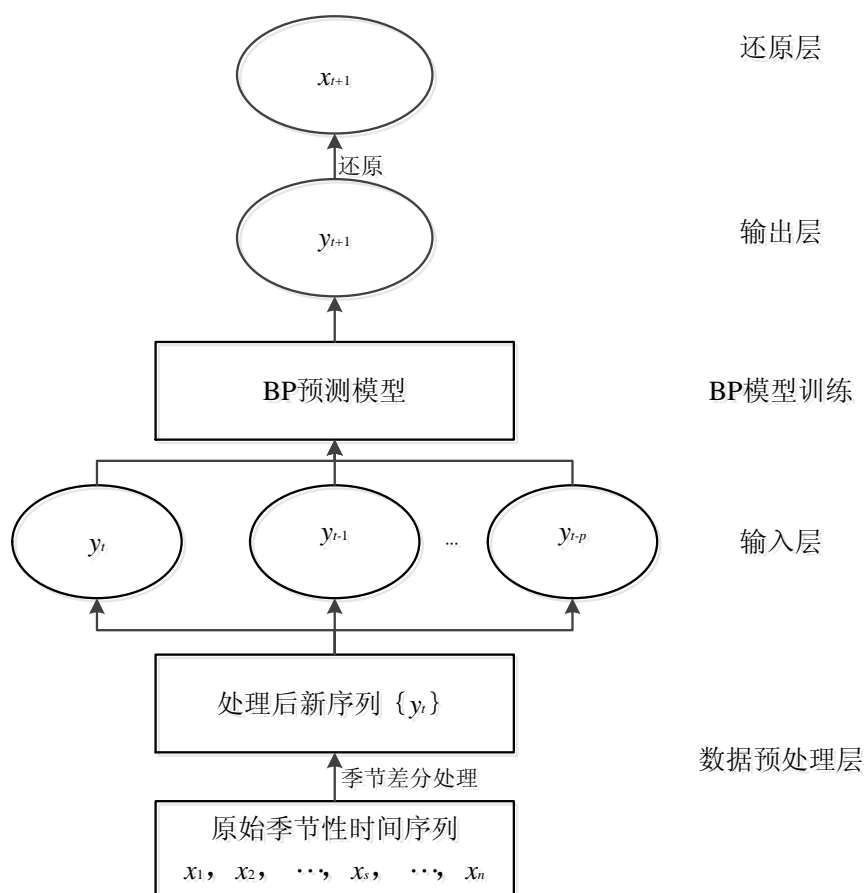


图 5.1 季节差分-BP 建模图

以一个单变量季节性时间序列为例，说明季节差分-BP 的模型设计过程：

(1) 假定一个单变量季节性时间序列为  $\{x_t\} = \{x_1, x_2, \dots, x_s, \dots, x_n\}$ ， $s$  表示季节性周期的长度（月度序列  $s=12$ ，季度序列  $s=4$ ）。模型建立之前，原始数据首先要进行季节差分处理，如下：

$$y_t = x_t - x_{t-s} \quad (5.1)$$

(2) 季节差分处理后的新的序列为  $\{y_t\}$ ，对  $\{y_t\}$  进行 BP 建模，季节差分-BP 认为未来时刻的  $y_{t+1}$  与其过去值存在某种函数关系，这种函数关系类似于自回归模式，如下所示：

$$y_{t+1} = f(y_t, y_{t-1}, \dots, y_{t-p}) \quad (5.2)$$

其中  $f(\cdot)$  为 BP 待估计的预测函数， $p$  表示输入向量的维度。

(3) 季节差分-BP 模型得到的预测值  $y_{t+1}$ ，并不是真正的预测值，还要进行还原处理-季节差分的逆操作，才可以确定出真正的预测值。

$$x_{t+1} = y_{t+1} + x_{t+1-s} \quad (5.3)$$

### 5.2.2 智能预判分析

对一条非预约集港需要进行闸口需求预测的班线，按照实际设需要提前 6 天集港，按照每 3 小时（或 2 小时，或其它）为一个时间段，划分为 48 个时间段。设有  $m$  个集港抵达码头闸口各个时间段集卡数量分布的班次历史数据，设  $x_{i,j}$  ( $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, 48$ ) 为第  $i$  个样本在第  $j$  个时间段抵达码头闸口集卡数量，对需要预测的第  $m+1$  班次，已知在各个时间段已经抵达码头（含尚在闸口排队等待）的集卡数量时间序列为  $x_{m+1,1}, x_{m+1,2}, \dots, x_{m+1,j}$  ( $j=1, 2, \dots, 48$ )（实时信息），需要预测第  $j+1$  时间段码头闸口集卡数量  $\hat{x}_{m+1,j+1}$ ，并且在随后采集到  $x_{m+1,j+1}$  后，能快速预测到  $\hat{x}_{m+1,j+2}$ ，以实现满足码头作业和港口交通管理需要。因此本研究问题-智能预判的核心可归结为式 (5.4) 的动态更新与计算问题：

$$\hat{x}_{m+1,j+1} = H(x_{1,1}, x_{1,2}, \dots, x_{1,48}; x_{2,1}, x_{2,2}, \dots, x_{2,48}; \dots; x_{m,1}, x_{m,2}, \dots, x_{m,48}; x_{m+1,1}, x_{m+1,2}, \dots, x_{m+1,j}) \quad (5.4)$$

显然式 (5.4) 对码头闸口交通需求的预测既利用了历史信息又利用了实时信息，而对其辨识问题是能否实现智能预判的关键点。其智能预判在线原理预测图如图 5.2 所示。

图 5.2 中，每一个小格代表时长 3 小时的一个时间段，固定建模窗宽度，用新采集到的集卡车数量取代前一时间段的预测值，以保证预测的精度。

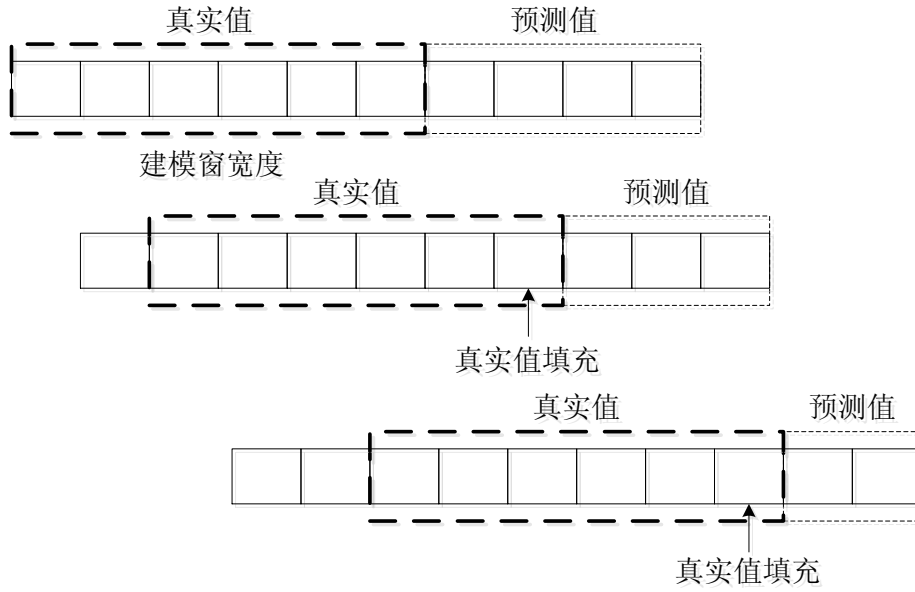


图 5.2 智能预判在线预测原理图

### 5.2.3 季节性神经网络预测模型

考虑到式 (5.4) 中时间序列是建立在每一个班次基础上, 而每一个班次在每一个时间段到达集装箱码头闸口数量具有一定的随机性, 使其整个时间序列呈现出所谓的季节性, 本论文采用季节性时间序列方式处理所有预测模型输入数据, 处理后的时间序列数据, 可采用线性、非线性等多种方式予以映射, 其中本论文采用神经网络即季节性神经网络 (Seasonal ANN, SANN) 模型。具体步骤为:

(1) 对时间序列数据  $x_{1,1}, x_{1,2}, \dots, x_{1,48}; x_{2,1}, x_{2,2}, \dots, x_{2,48}; \dots; x_{m,1}, x_{m,2}, \dots, x_{m,48}; x_{m+1,1}, x_{m+1,2}, \dots, x_{m+1,j}$ , 采用差分法对该季节性数据进行处理, 消除季节性特征, 使其平稳化。

$$\Delta x_{i,j} = x_{i+1,j} - x_{i,j} \quad i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, 48 \quad (5.5)$$

对  $\{\Delta x_{i,j}\}$  构成的时间序列用  $\{z_t; t=1, 2, \dots, m \times j + (m-1) \times (48-j) = n\}$  表示。

(2) 对处理后的  $n$  个时间序列数据, 进行时间序列预测。其中可采用线性、非线性等多种形式予以映射。

$$\hat{z}_t = f(z_{t-1}, z_{t-2}, \dots, z_{t-p}) \quad (5.6)$$

其中  $p$  为预测模型中输入变量的个数, 共  $n-p-1$  个预测模型训练样本。

对式 (5.6), 本论文采用建立神经网络的形式, 具体为前馈型神经网络, BP 学习算法训练。

(3) 利用动态更新辨识的模型 (5.6), 计算出  $z_t$  的预测值, 再利用式 (5.5) 进

行反季节差分计算出下一时间段需预测的该班次码头闸口需求量。

(4) 计算出所有班线、班次在这个时间段的闸口交通需求，加上按照计划预约的闸口交通需求、商务车辆等，就得到下一个时间段的闸口交通需求总量。

(5) 当得到下一个时间段一班线班次的实际闸口交通需求后，按照(1) - (4)的步骤重新更新计算预判。

## 5.3 应用分析

本章仍然以天津港东方海陆集装箱码头公司实地采集数据为依据，选取与三、四章相同的一条需要进行闸口交通需求预测班线，提前6天集港的班次，进行实例分析。首先分析该班线在码头闸口交通量的季节性特点，然后通过建立的SANN模型进行预测，并与第三、四章的实例结果进行比较，来体现SANN预测模型显著的预测性能。

### 5.3.1 闸口交通量季节性特点分析

将原始数据进行整理，提前6天集港的共有10个班次，将选取的样本数据分时间段汇总记录，时间间隔为3小时，共有 $(24 \div 3) \times 6 \times 10 = 480$ 个数据，绘制10个班次各个时间段抵达码头闸口的时序图，见图5.3所示。

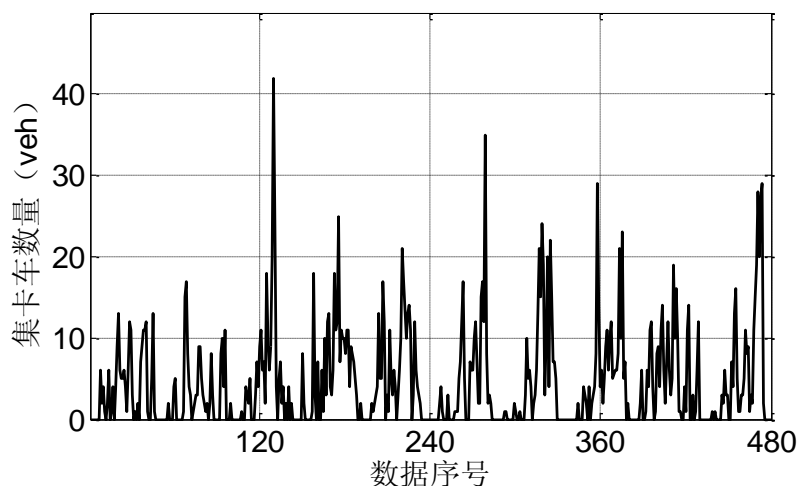


图 5.3 10 个班次集卡抵达码头闸口交通量时序图

显然可以看出，集卡交通量具有明显的周期性，每6天为一个循环。由于集装箱码头出口箱收箱计划（依据船期表制定，集卡只能在该时间段进入港口）的制定以及严格的截箱期（装船前某段时间不再允许集卡进入堆场，保证堆场做好装船准备），所以在集港的6天中，交通量先是逐渐增加，达到一个峰值，随着截箱期的接近，又

开始减少。每个班次都呈现出这种大致相似不完全相同的变动趋势，因此，每个班次每个时间段抵达码头集卡数量呈现出明显的季节性特点，即服从一定的概率分布，从而进一步证明了概率分布拟合法的科学性。但由于码头闸口交通需求的不确定性，使得各个季节即不同时间段的交通需求不完全一样。

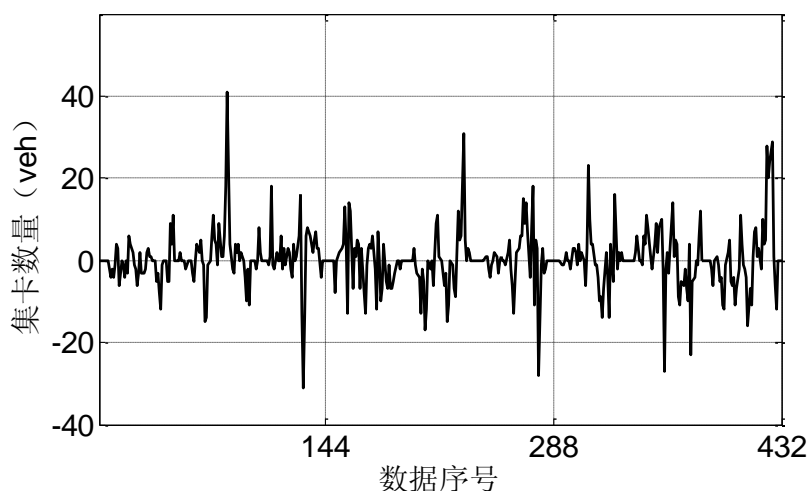


图 5.4 季节差分处理后的时序图

前 10 个班次时间序列经季节性处理后的时间序列图见图 5.4，可以看出差分处理后的数据没有明显的周期规律性，即季节性已经消除。

从图中也可以更加明显看出差分后-即上下两个班次同一时间段抵达码头闸口集卡数量差额虽具有一定规律，但不为 0，有时差额较大，这反映了码头作业作为复杂网络非线性系统，码头闸口交通需求具有内随机性、自相似性，概率分布预测法虽反映了其自相似性，但不等于相同。即由于没有利用实时信息，很难精确地反映出其内部复杂的非线性关系，不能保证其预测的精确度。

### 5.3.2 SANN 模型预测结果

在数据进行季节差分处理的基础之上，神经网络结构实行动态优化更新，每层的传递函数为 `tansig` 函数，训练函数为 `traingdm` 函数，学习函数为 `learngdm` 函数，`mse` 为性能函数，输入层神经元个数为 8，输出层神经元个数为 1，根据 Kolmogorov 定理及实际训练过程中的不断调整，确定网络中间层的神经元个数为 17，所以设计出的网络拓扑结构为 8-17-1 的单隐层结构，以此进行动态更新 SANN 预测模型。模型中的参数经过多次实验确定，两次显示之间的训练步数为 100，学习速率为 0.01，动量因子为 0.9，训练步数 50000 代，训练目标  $10^{-4}$ 。其中，检验班次即预测第 10 个班线第 27 个时间段训练学习时神经网络训练误差曲线见图 5.5 所示。

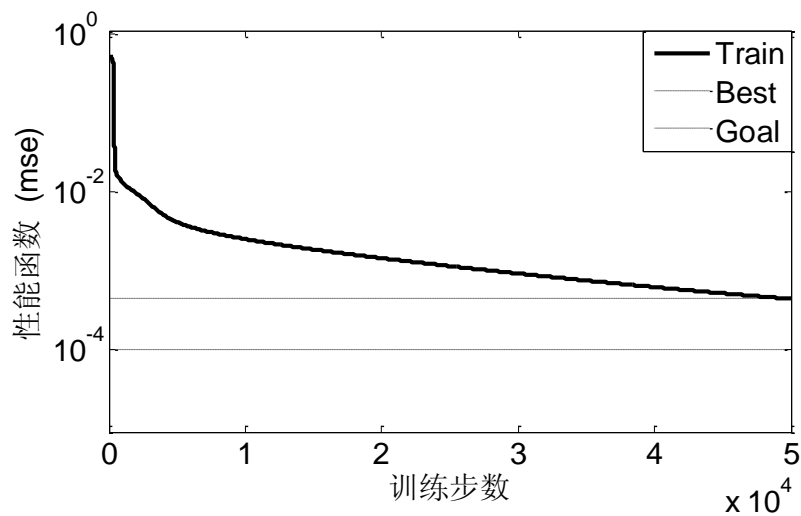


图 5.5 SANN 模型训练误差曲线图

由图 5.5 可以看出，该训练误差曲线并没有达到设定的训练目标值，但是训练误差已经很小为 0.00043736，数量级已经达到  $10^{-4}$ ，即已经很接近目标值，由此可以判定网络训练良好，可用于码头闸口交通量的智能预判。

通过 5.2.3 建立的 SANN 预测模型进行预测，第 10 个班次各个时间段的预测值见表 5.1 所示。

表 5.1 SANN 法第 10 班次各个时间段预测值

时间 段/h	预 测 值/veh	时间 段/h	预 测 值/veh	时间 段/h	预 测 值/veh	时间 段/h	预 测 值/veh
1	-4	13	4	25	0	37	16
2	2	14	3	26	2	38	22
3	0	15	6	27	4	39	28
4	3	16	2	28	2	40	19
5	0	17	3	29	5	41	27
6	0	18	1	30	12	42	28
7	1	19	1	31	7	43	4
8	0	20	9	32	9	44	0
9	1	21	2	33	-1	45	-1
10	0	22	14	34	5	46	-3
11	2	23	16	35	3	47	-2
12	-2	24	6	36	14	48	-4

将此预测数据与表 3.4 真实数据代入评价指标(见 3.3 节，下同)，得 MAE=1.17，

MSE=2.54, RMSE=0.23。从中可以看出, 各评价指标的误差数值相对较小, 均方根误差低于 0.5, 充分说明了该方法具有较高的预测精度。

### 5.3.3 实例结果比较及分析

为了更加直观形象地对比三种预测方法的预测能力, 本章将 3 种预测方法的预测结果和真实值绘制为如下曲线, 见图 5.6 所示。

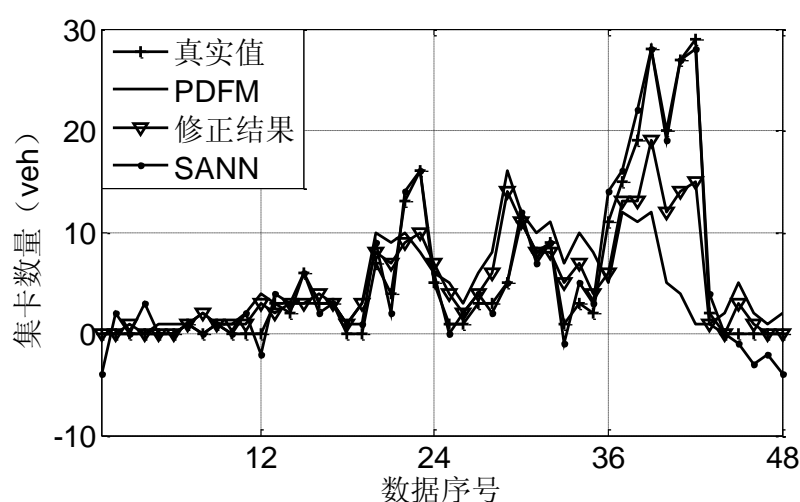


图 5.6 三种预测方法预测结果对比图

由图 5.6 明显看出, 经过季节性处理的 SANN 预测方法的预测效果最好, 无论是从曲线的走势, 还是预测数值的大小, 都与真实值基本一致, 只有个别处于开始时间段和结束时间段的预测数据优度较差, 而处于中间部分的预测效果良好; 经概率修正的预测精度位居第二位, PDFM 相对效果最差, 该方法仅利用历史 (先验) 信息, 没有利用实时信息, 只是智能的初级阶段, 经概率修正后预测精度有所提高, 但是由于没有考虑到集卡交通量季节性特点, 所以预测精度达不到本章所提出的季节性时间序列预测方法, 即本预测方法是在历史信息基础上综合加工实时信息的智能高级方式, 具有较高的预测性能, 能够满足实际工程的需要。

表 5.2 三种预测方法评价指标的比较

预测方法	评价指标		
	MAE	MSE	RMSE
PDFM	4.13	48.79	1.01
概率修正	2.58	28.77	0.6
SANN	1.17	2.54	0.23



三种预测方法评价指标的比较结果见表 5.2 所示，通过比较结果也可以看出，SANN 误差最小，预测精度最高；概率修正次之；PDFM 预测精度最差，其排序结果与上述借助图 5.6 的描述是一致的。SANN 的误差结果明显小于其它两种预测方法，充分说明了季节性神经网络预测模型高效的预测精度。

## 5.4 小结

本章分析了季节性过于显著这一特点，会给预测分析带来的问题以及消除该特征的方法和必要性，在此基础上，建立了基于实时信息和消除同一班线每一班次在整个时间序列上所呈现出的季节性的 SANN 预测模型，并进行了实例分析，最后将本论文三种预测方法的预测结果进行了比较，证明了 SANN 模型具有高效的预测性能。



## 第六章 结论与展望

### 6.1 结论

通过前文的叙述分析可知, 闸口是港区集疏运系统的瓶颈, 处于至关重要的位置, 码头闸口的大面积排队, 不仅会给码头企业、港口管理部门造成很多问题, 甚至演变为港区区域性的拥堵, 严重影响了整个集疏运系统的正常运作。近年来, 港口经济的蓬勃发展, 导致这一矛盾演变得更加激烈, 所以如何快速准确地掌握码头闸口的交通量信息, 以便为码头企业、港口管理部门提供依据, 成为迫切需要解决的问题。本论文克服了已有研究的缺陷, 建立了基于船期表的码头闸口交通需求智能预测模型, 并进行了实例分析, 证明了该方法的有效性与科学性。

本论文的主要研究成果总结如下:

(1) 码头闸口是港区集疏运交通系统的子系统之一, 而闸口交通量及其规律是由港区集疏运及其特点所决定的, 因此本论文对港区集疏运交通系统、交通流特点进行了分析, 旨在研究码头闸口子系统及其交通流特性, 以此为依据, 设计了建立在数据库、知识库、信息子系统等基础上的软件开发——码头闸口交通需求智能预判系统。包括系统设计的基本要求, 结构及原理, 数据库表及软件演示界面。

(2) 根据历史班次抵达集卡的总数分布, 建立了基于 SVM 的集卡车总量动态预测模型, 根据已抵达集卡各个时间段的历史信息, 运用 PDFM 方法, 确定码头闸口交通量的概率分布, 并通过实例进行了验证, 证明了港区道路交通的复杂性, 呈现出时空分布不均衡特性, 以及只利用历史信息进行预测的不科学性, 最后利用二者之积, 得到了各个时间段到达的集卡车数量。

(3) 在基于历史信息-先验知识, 运用 PDFM 方法确定概率分布的基础上, 利用实时信息进行概率纠偏, 即历史信息-已经抵港的每个班次每个时间段均有一个实际概率和一个平均概率, 两者之差即为概率偏差, 以此构成时间序列, 实时信息-将要到达的班次, 第一时间段的概率纠偏只能利用历史数据的概率偏差进行纠偏, 而第二时间段的可以利用上一时间段得到的真实信息进行修正, 以此类推, 重新确定概率分布。通过具体的实例与之前结果进行比较, 证明了该方法的有效性。

(4) 阐述了季节性特征显著对预测造成的影响, 在此基础上, 建立了不需要对总量进行预测, 而是通过集装箱码头闸口交通需求源于船期表具有季节性和非线性特点的系统分析, 提出基于每条班线船期表来预测其对码头闸口产生交通需求的思想, 采用季节性时间序列方法处理集港车辆到达码头闸口随时间的数量分布, 建立处理后

的时间序列数据与预测交通量之间非线性关系的人工神经网络模型，并进行了实例验证。最后将本论文三种预测模型的预测结果进行了比较，证明了 SANN 模型具有高效的预测性能。

## 6.2 创新点

本论文的创新点共有 3 个，总结如下：

(1) 建立了集装箱码头闸口的交通需求曲线拟合模型。该模型克服了以往研究的不足，不仅涉及概率分布，还涉及具体各个时间段的集卡车辆数量，用实例证明了概率分布模型应区分集卡到达港口的地点，应考虑可能出现集港装船箱数小于该班次最大预留箱数的情况等，因为港区道路交通复杂，呈现出时空分布的不均衡性，所以要区分地点进行建模，不能笼统的只对抵达港口的集卡车辆进行建模研究。

(2) 利用实时信息，对 PDFM 确定的概率分布进行修正。因为 PDFM 仅是利用了大量的历史信息-先验知识进行建模，不能满足智能交通的基本要求，所以基于实时信息的概率修正，能够更好地保证其预测精度。

(3) 建立了基于季节性 ANN 的智能预测模型。通过集装箱码头闸口交通需求源于船期表具有季节性和非线性特点的系统分析，提出基于每条班线船期表来预测其对码头闸口产生交通需求的思想，采用季节性时间序列方法处理集港车辆到达码头闸口随时间的数量分布，建立处理后的时间序列数据与预测交通量之间非线性关系的人工神经网络模型，该模型预测快速、准确，具有高效的预测性能。

## 6.3 展望

本论文虽然在研究集装箱码头闸口交通需求智能预测方面取得了一些成果，但是仅是码头闸口交通需求的初步研究，仍然存在着一些不足。为了使今后的研究问题能够更加准确，更加深入，今后的工作还需要从以下几个方面进行改进：

(1) 对集装箱卡车抵达集装箱码头闸口的时间分布规律研究还不够深入，应充分收集集卡到达码头闸口的信息，通过假设检验、参数估计等统计方法，定量地判断出集卡车抵达集装箱码头闸口服从的分布类型。

(2) 在理论上需要进行其它如粗糙集、贝叶斯动态网络等数据挖掘技术方法研究，以进一步提高智能预判的精度。

(3) 在具体交通应用上，需要针对不同 OD 点对形成码头闸口的交通需求，结合交通网络理论方法以对港区道路交通需要进行预测，为港口交通管理与控制、码头企业运输组织提供更加科学合理的决策支持。

## 参考文献

- [1] BOER C A, WAAL A D, ECK B V, et al. Distributed e-Services for Road Container Transport Simulation [C]// Proceeding 15th European Simulation Symposium. Delft, Netherland: SCS European Publishing House, 2003: 541-550.
- [2] Creton J P. An approach to the optimal design of Technology of a container terminal [D]. Massachusetts Institute of Technology, Department of Ocean Engineering Cambridge MA,02139,1973.
- [3] 杨忠振,陈刚,陈康.基于码头作业形态的港区道路交通需求预测[J].大连海事大学学报:自然科学版,2009,35(4):35-38.
- [4] 丁文涛.基于船舶到港规律的集装箱港区货运交通需求预测方法[D].大连理工大学, 2011.
- [5] Yang Z Z, Chen G and Moodie D R. Modeling Road Traffic Demand of Container Consolidation in a Chinese Port Terminal [J]. Journal of Transportation Engineering,2010,136(10):881-886.
- [6] 牟莲芝.集装箱码头闸口-场桥合理配置的仿真优化研究[D].大连海事大学, 2011.
- [7] Zhang Y.L. Intermodal Freight Transportation Planning Using Commodity Flow Data [R]. Mississippi State University,2003.
- [8] 张勇.深圳港西部港区疏港道路规划及实施研究[D].湖南大学,2007.
- [9] 杨龙海,章锡俏,李社教,等.深圳盐田港保税区货运交通需求预测[J].城市交通, 2007, 5(2): 51-54.
- [10] 杨君,蒋科,张杰.集装箱港区道路交通量需求预测方法探讨[J].公路交通技术,2007(5): 109-112.
- [11] 翟长旭,邓卫,潘艳荣.集装箱港区交通系统规划研究[J].武汉理工大学学报:交通科学与工程版,2009,33(1):188-191.
- [12] 李朝阳,孙伟.港口运输需求预测及集疏运设施规划研究—以钦州港为例[J].交通科学与工程,2010,25(4):79-85.
- [13] 白子建,徐建平,朱海明.一种基于吞吐量反推的海港交通需求预测方法[J].城市道桥与防洪, 2010(6):83-86.
- [14] 王晓坤,陆化普.集装箱深水港交通需求预测方法研究[J].中南公路工程,2006,30(4): 124-128.
- [15] 林晓丹.区域道路交通流和港口集疏运关系研究[D].华南理工大学, 2011.
- [16] 朱泽,周强.集装箱港区物流及周边道路交通系统规划研究[J].物流技术,2008,27(7): 4-6.
- [17] 苗明,张涛,宋科.集装箱港口交通规划研究[J].物流技术,2006(12):8-10.
- [18] 向前忠.港口公路集散交通量预测的探讨[J].广东公路交通.2008(3):58-61.
- [19] 刘岩.大连集装箱港区道路交通规划设计与研究[D].南京理工大学,2010.
- [20] 陈红军.大窑湾港区公路集疏运系统优化研究[D].大连理工大学,2006.
- [21] 宋科.大窑湾集装箱港区道路网交通规划研究[D].大连理工大学,2006.

- [22] 董毅.日照港疏港公路项目交通量预测[D].天津大学,2010.
- [23] 刘洋.港口集装箱物流园区货运交通量预测研究[D].北京交通大学,2009.
- [24] 孟嘉铭.港口公路集疏运货运交通量预测及交通配流研究[D].北京交通大学,2012.
- [25] Pope J.A., Rakes T.R., Rees L.P., et al. A network simulation of high-congestion road-traffic flows in cities with marine container terminals [J]. Journal of the Operational Research Society,1995,1090-1101.
- [26] Morais P, Lord E. Terminal Appointment System Study [R]. Ottawa:Transport Canada, TP 14570E, 2006.
- [27] 郑东学.天津港集装箱码头闸口通过能力研究[D].大连海事大学,2010.
- [28] 施梅超,张婕姝,许健.仿真在集装箱堆场闸口的应用[J].物流工程与管理,2009,(3):39-40.
- [29] 姜俞竹.集装箱码头闸口合理规模确定及系统仿真[D].大连海事大学,2010.
- [30] Chien S I-Jy, Ding Y Q, Wei C H. Dynamic Bus Arrival Time Prediction with Artificial Neural Networks [J]. Journal of Transportation Engineering, 2002, 128(5): 429-438.
- [31] Chien S I-Jy, Kuchipudi C M. Dynamic Travel Time Prediction with Real-Time and Historic Data [J].Journal of Transportation Engineering, 2003, 129(6): 608-616.
- [32] Štěpnička M, Cortez P, Donate J P, et al. Forecasting seasonal time series with computational intelligence: On recent methods and the potential of their combinations [J]. Expert Systems with Applications, 2013, 40(6):1981–1992.
- [33] Hamzacebi C. Improving artificial neural networks performance in seasonal time series forecasting [J].Information Sciences, 2008, 178(23):4550–4559.
- [34] Wang S, FENG J, LIU G. Application of seasonal time series model in the precipitation forecast [J]. Mathematical and Computer Modelling, 2013, 58(3): 677–683.
- [35] 姚勇.集疏运系统在港口物流体系中的应用[D].浙江工业大学, 2012.
- [36] 王伟丽.港口集疏运系统的分析与评价研究[D].大连海事大学, 2011.
- [37] 龚凤刚,赵巍,王志华.天津港微观交通仿真系统[J].天津建设科技, 2008,18 (5): 50–51.
- [38] 尹立鹏.基于 Flexsim 的集装箱码头后方堆场功能区布局优化[D].大连海事大学, 2012.
- [39] 王兴秋.集装箱码头后方堆场系统设备配比仿真研究[D].山东大学, 2011.
- [40] 王志明.集装箱码头后方堆场箱位分配优化研究[D].重庆大学,2010.
- [41] 郑东学.天津港集装箱码头闸口通过能力研究[D].大连海事大学, 2010.
- [42] 刘大为.港区道路通行能力计算方法及分析[J].城市建设理论研究(电子版), 2011, (24).
- [43] 刘万里.支持向量机中若干问题及应用研究[D].西安电子科技大学, 2008.
- [44] 王洪波.基于支持向量机的非线性时间序列预测方法研究[D].江南大学,2008.
- [45] 姜成玉.基于支持向量机的时间序列预测[D].辽宁师范大学,2010.
- [46] 陈顺财.基于支持向量机的时间序列预测研究[D].兰州理工大学,2008.

- [47] 刘运荣.基于支持向量机的时间序列预测研究[D].大连:大连海事大学,2008.
- [48] 牛家洋.基于神经网络的非线性系统时间序列的预测方法研究[D].山东师范大学,2013.
- [49] 张益铭,徐晓钟,王智庆.支持向量机与时间序列预测综述[J].计算机应用与软件,2010,27(12): 127-129.
- [50] Khemchandani R, Chandra S. Regularized least squares fuzzy support vector regression for financial time series forecasting [J]. Expert Systems with Applications, 2009, 36(1): 132-138.
- [51] 朱沁.天津港集装箱内支线运输发展对策研究[D].大连海事大学, 2010.
- [52] 臧红.基于定性定量方法的企业区域性配送中心选址问题研究[D].天津大学, 2009.
- [53] 刘春.基于误差校正的网络流量组合预测[J].福建电脑,2014,(2):101-103.
- [54] 张立仿.遗传 BP 神经网络在网络流量预测中的应用[J].计算机与数字工程,2014, (4):660-663.
- [55] 钱吉夫.SVR 季节性时间序列预测模型的构建与应用[D].华南理工大学,2010.
- [56] 张福利.状态空间模型在季节性时间序列中的应用[D].大连海事大学,2011.
- [57] 罗敏.季节时间序列的季节调整与模糊预测方法[D].大连海事大学,2013.
- [58] 甘宏.季节时间序列的方法研究及实证分析[D].电子科技大学,2011.





## 攻读硕士学位期间所取得的相关科研成果

发表论文:

- [1] 庞明宝,杨敏,张莎莎.高速公路协调控制信号施加策略研究[J].公路交通科技,2013,31(1):98-105.
- [2] 张莎莎,庞明宝,杜宏亮,等.基于船期表的一种集装箱码头闸口交通需求智能预判方法[J].交通科技,2014(5):148-151.

参加科研项目:

- 1.天津市科技支撑计划项目(12ZCZDSF00300)-天津港道路交通系统关键技术集成开发与工程示范。
- 2.天津市城乡建设和交通委员会资助项目-天津市建设系统软课题研究项目。



## 致 谢

时光荏苒，岁月如梭。仿佛昨天我刚来到这所学校，不知不觉间研究生生活已经接近了尾声。回想过去在学校的日子，心中各种滋味。每天都是固定的学习生活，不断地往返于宿舍、食堂、办公室，自己的生活范围被锁定在一个以办公室为圆心，以办公室到宿舍的距离为半径，四分之一圆弧范围内。也就是这样的学习过程，才塑造了我新的自己，让我有足够的勇气与信心走上社会，面对社会这个大环境。在学校的这些日子，我一一见证了时间带给学校的印记，它们是有形状的，是有颜色的。西区公园的钟形建筑、体育场和学校门口的音乐喷泉、学校大面积的绿化以及正在建设的图书馆，让我对学校充满了怀念与不舍。在此，我更要感谢我的导师-庞明宝教授，我的师弟师妹，我的朋友及我的家人，感谢你们给我的帮助与鼓励。

特别感谢我的导师庞明宝老师。庞明宝老师严谨的学术作风、渊博的学识、敏锐的洞察力与缜密的思维，使我受益匪浅。我养成了独立思考的习惯，学习态度更加端正。从我小论文的写作到大论文的完成庞老师都倾注了大量的时间与心血，遇到困惑时，帮我指点迷津，提供帮助，并引导我独立思考，才有我今天的研究成果。

感谢我的师弟师妹。办公室枯燥的研究生活是你们陪我度过，给予我欢笑，看到我孤独无助时，给予我安慰，告诉我要坚持，谢谢你们让我的生活变得丰富多彩。

感谢我的家人及朋友。感谢我的父母赐予我生命，给予我满满的爱；感谢我的姐妹给以我鼓励；感谢我的朋友给以我支持。你们是我坚实的后盾！

感谢我的母校—河北工业大学。让我在一个有如此浓厚的文化氛围中成长，祝愿我的母校河北工业大学年年桃李，岁岁芬芳！