

“安吉杯”全国大学生物流设计大赛

面向整车物流 资源计划的优化设计

参赛学校：华中科技大学

参赛团队：控制之星队

参赛成员：赵兰 孔妍 龙寰

宫剑 魏一英

指导老师：谢勇

摘要

本方案是针对安吉的整车物流运输业务进行设计的，为了解决安吉的商品车物流配送过程中涉及到的商品车运输量及其路线规划问题，根据企业运输工作量确定配备运输工具的类型、数量及其装载能力等，并且把任务具体分配到公路、铁路、水路各类运输公司。涵盖了物流管理理念创新，系统运作控制与流程优化设计，物流成本与运输时间优化设计多个方面的内容。

方案的核心是整车物流资源计划的编制，该计划是对企业的订单和运力资源进行管理调配，以达到充分利用运力满足订单需求的目的，最终实现从客户下订单到配送到门的全程最优化的运输过程。订单到达后，将订单信息录入系统，然后确定优化运输线路和运输方式；再将运输任务与运输车辆进行配备，若出现运力不足而且通过更改运输方式等方法无法解决的情况，可以启用事先通过运力招投标系统补充的备用运力；最后采用案例推理和关联矩阵的方法，将运输任务分配给各承运商，生成最后的资源计划方案。在方案的执行过程中，会对整个运输过程进行监控，并将监控的信息反馈给计划编制系统，形成具有反馈机制的闭环控制系统。

本方案的特色在于能够整合整个商品车的物流配送过程，始终将低成本高效率的目标贯穿始终，利用信息化的手段，结合系统工程的思想来编制运输计划，指导从订单处理到线路规划到承运商配送的整个运作过程的进行。同时还充分考虑方案的实操性及动态适应性，将计划编制与企业实际以及环境因素充分结合，使得方案更加可行，同时具有一定的稳健性。

目录

1 整车物流资源优化方案设计	4
1.1 选题背景分析	4
1.2 总体思路	7
2 基于两级分拨的线路优化	11
2.1 问题背景	11
2.2 多式联运模型	12
2.3 基于蚁群算法求解多式联运模型	16
2.3.1 蚁群算法求解车辆路径问题的优点	17
2.3.2 基于蚁群算法求解多式联运模型的思路	17
2.4 实例分析	20
2.5 多式联运高效驳接	26
2.5.1 无缝连接	26
2.5.2 管理体制	28
2.5.3 设施设备	29
2.5.4 信息平台	30
2.5 本章小结	32
3 运力资源招投标系统	33
3.1 系统背景	33
3.1.1 安吉现状分析	33
3.1.2 系统构想	34
3.2 系统整体架构	35
3.2.1 系统功能结构分析	35
3.2.2 系统整体流程设计	35
3.3 承运商选择	37
3.3.1 承运商服务质量评价信息采集	37
3.3.2 承运商服务质量综合评价	39
3.3.3 基于层次分析法的承运商选择	40
3.4 实例分析	43
3.5 系统特色	48
3.6 本章小结	49
4 承运商运输任务分配	50

4.1 承运商运输任务分配现状分析	50
4.2 承运商运输任务分配流程.....	51
4.3 基于案例推理的承运商运输任务分配.....	53
4.4 基于关联矩阵的承运商运输任务分配.....	57
4.4.1 关联矩阵法.....	57
4.4.2 运输任务评级.....	60
4.4.3 承运商任务分配.....	61
4.5 实例分析.....	62
4.6 本章小结.....	65
5 整车物流资源优化调度系统.....	66
5.1 系统目标.....	66
5.2 系统功能分析与设计	66
5.2.1 系统功能需求分析.....	66
5.2.2 系统功能结构设计	67
5.3 资源计划方案编制的流程设计	69
5.4 系统实现.....	70
5.5 本章小结.....	79
6 总结与展望	80
7 参考文献.....	82

1 整车物流资源优化方案设计

1.1 选题背景分析

安吉物流作为一家为汽车及零部件制造企业提供服务的第三方物流公司，其下属业务包括整车物流、零部件物流和口岸物流，通过对安吉公司的现状以及案例的分析，我们决定主要针对整车物流这一业务板块展开讨论和分析。

对商品车进行配送的整车物流配送是一个复杂的系统，一项配送任务的完成往往包含了诸多环节，如订单处理、调度、发货、仓储、运输等，而且往往一次配送任务是由多种运输方式配合完成的，环节之间都是息息相关的，任何一个环节的延误都会影响后面环节的完成，进而影响整个任务的完成。

但是，通过我们对案例三、案例四、案例六以及案例十六进行研读分析之后，发现了一些关于安吉整车物流待解决的问题。

问题的核心是安吉物流的整车物流资源计划的编制。如方案三所要求的，整车物流资源计划需要企业在一定的计划期内，根据商品车运输需求的变化以及企业运输能力，确定企业计划的商品车运输量及其路线构成状况，并根据企业运输工作量计划的具体要求，确定配备运输工具的类型、数量及其装载能力等，然后把任务具体分配到公路、铁路、水路各类运输公司，使得运输需求与可能的供给之间能够建立起一种动态平衡。面临的具体问题如下：

- 在线路优化方面：

- (1) 在确定商品车需求量的基础上，如何确定运输路线以及每条线路的运量，如案例三中所提到的；
- (2) 在已经确定线路及其运量的基础上，如何对物流运输方式及线路进行优化。因为安吉物流承担着上海汽车两大基地商品车的运输业务，其配送城市覆盖全国大部分地区，配送方式涉及到海运、江运、铁路运输、公路运输，不同的运输方式分别存在不同的优缺点，怎样选择合理的运输方式，并且对不同运输方式的运量进行分配，使得运输成本和运输时间综合最优化，是我们需要解决的问题，如案例六和案例十六中所提到的。

(3) 如果选择多式联运的方式，如何选择和组织各种运输方式以及在驳接过程中怎样克服运输方式转换时衔接不紧密的问题，如案例十六中所提到的。

- 在运力方面：

在整车物流资源计划编制时，若发现企业运输能力无法满足订单需求，并需要启用备用资源时，如何确定承运商作为备用资源，如案例三所提到的。

- 在运输任务分配方面：

(1) 在确定运输路线与运输方式之后，通过什么机制选择运输公司，给各运输公司分配运量，以完成指定的运输任务，得到资源编制计划，如案例三中所提到的。

(2) 当突发状况出现时，例如客户订单、运力资源、环境因素等发生变化，应该怎样快速做出反应，调整已有的资源计划，如案例三中所提到的。

- 在整车物流资源优化调度系统方面：

基于以上问题，建立一整套整车物流资源优化调度系统。综合业务因素和环境因素，搭建平台，通过定量计算与定性分析的有机结合，解决以上的诸多问题，提高资源计划编制工作的科学性、有效性和精确性，如案例三中所提到的。

安吉物流作为一家为汽车及零部件制造企业提供服务的第三方物流公司，其主要业务是面向客户的物流服务，我们的整个方案是针对于整车物流的全过程进行优化设计的，把节约物流成本和提高物流效率作为我们始终依据的宗旨。运输成本最小化和运输时间最小化在一定程度上是相悖的，运输时间的缩短必须以更高的成本为代价。所以在实际考虑中，必须根据公司的经营状况和客户的服务水平要求对两个因素折中权衡，使整体达到最优化。

安吉物流公司目前的调度模式有两种，即总部调度和现场调度。

(1) 总部调度：安吉物流之前一直沿用的调度模式。每当客户发出订单要求，安吉总部根据运输公司上报的运力进行审核。如果公司运力可以满足订单要求，就由安吉物流公司总部根据订单制定运输计划确定运输线路并发出调度指令。

(2) 现场调度：安吉目前正在试运行的调度模式，当客户发送订单时，安吉总部先对订单进行分配预处理，处理后的订单交给运输公司自己在调度系统里进行调度操作，并上传指令。运输管理部负责日常的运力审核与

调度过程的监控管理。

对于两种调度模式，我们分析如下表 1-1 所示：

表 1-1 两种调度模式的比较分析

调度方式	优点	缺点	适用情况
总部调度	<ul style="list-style-type: none">● 分工明确，操作性强；● 离客户端较近，可以更多地考虑客户的需求；保证服务质量；● 实现全局优化，有利于提高公司总体效益；● 可以对订单变化的紧急情况作出快速反应；	<ul style="list-style-type: none">● 调度时需要考虑的问题明显增多，包括路径、装载性、交通意外状况处理等问题；● 下达调度指令的过程极其复杂且耗时较长；● 客户的发运及时率指标压力很难传递，总部对运输供方难以分清责任、有效监督	订单量不大，客户对服务质量的要求较高；
现场调度	<ul style="list-style-type: none">● 离运输端较近，更多地考虑实际运输情况；● 简化调度流程，避免信息的过度传输，进而提高调度效率，降低运输成本；● 专业化分工，职责界定明确，监管相对合理有效；	<ul style="list-style-type: none">● 各运输公司各自为阵，彼此之间无法形成有效的配合● 运输服务质量无法保证；● 在遇到非常规订单或者应急订单时，可能造成在短期内有些运输公司运力无法及时匹配；	订单量很大；订单需求的区域分布性强；

对于现场调度模式，安吉总部的主要操作就是将当天的运输任务根据区域性原则直接下发给运输子公司，由运输子公司自己计划和组织运输作业，在这种方式下，安吉总部将订单任务的分配和运输计划的指定独立分开，没有考虑到整体的最优化效益。因此，考虑到我们的方案是基于整体优化思想的，我们将不会讨论在现场调度模式下的业务流程和逻辑，而是着重分析总部调度模式下的整体优化思想和手段。

我们通过对以上提出的问题综合讨论，设计出我们此次比赛作品的一个整体思路，即基于总部调度模式，以整车物流资源优化方案为核心，主要解决资源计划编制问题，实现从整车物流的订单到达到配送到门的整个过程的优化处理，将低成本、高效率的目标贯穿于始终。同时还会设计相应的整车物流资源优化系统主要支撑完成计划编制工作的进行。

1.2 总体思路

上一节中我们对案例进行了详细解读和分析，提出了案例中存在的问题，确定了我们的方案主要是围绕安吉的整车物流资源计划编制的优化设计。我们分析了安吉的整车物流概况，这一节我们将确立方案的总体思路——整车物流资源优化方案的建立。

整车物流资源优化方案包括资源计划编制和监控调度两部分，考虑到安吉物流公司在监控调度方面已经有一定的优化设计，所以我们将方案的重点放在资源计划编制部分，着重解决订单实际配送之前的资源计划编制问题：

（1） 资源计划编制

主要完成基于实际给定订单情况下的运输计划的编制，通过对运输线路、运输方式进行优化选择以及对运力进行合理分配，实现从订单到送到客户手中的整个配送过程的优化处理。计划编制的主要内容包括运输线路优化、运力需求确定、承运商运输任务分配等，最终会形成一套关于商品车配送的整体优化的方案。

（2） 监控调度

基于以上编制的优化方案，形成实际的调度指令，指导运输车辆进行商品车的配送工作。实际配送过程中还包括监控管理功能，利用安吉已有的监控系统和GPS 导航系统实现对车辆运输过程的实时监控调度。

根据以上的分析过程，我们所要得到的整车物流资源优化方案是为了解决整车物流过程中的以运输时间成本、直接运输成本和碳排放成本为目标的综合优化问题。该方案最终能够实现对订单任务和运力资源进行合理分配管理的功能。

同时还会有一套整车物流资源优化系统支撑该资源优化方案的实际编制，该系统遵循资源计划编制的流程和运作内容，以整车物流订单为输入，利用现代化的计算手段，最终自动生成一套资源优化方案；并且提供订单实际处理过程中的监控调度功能。

关于资源优化方案以及系统的关系可以表示如图 1-1 所示：

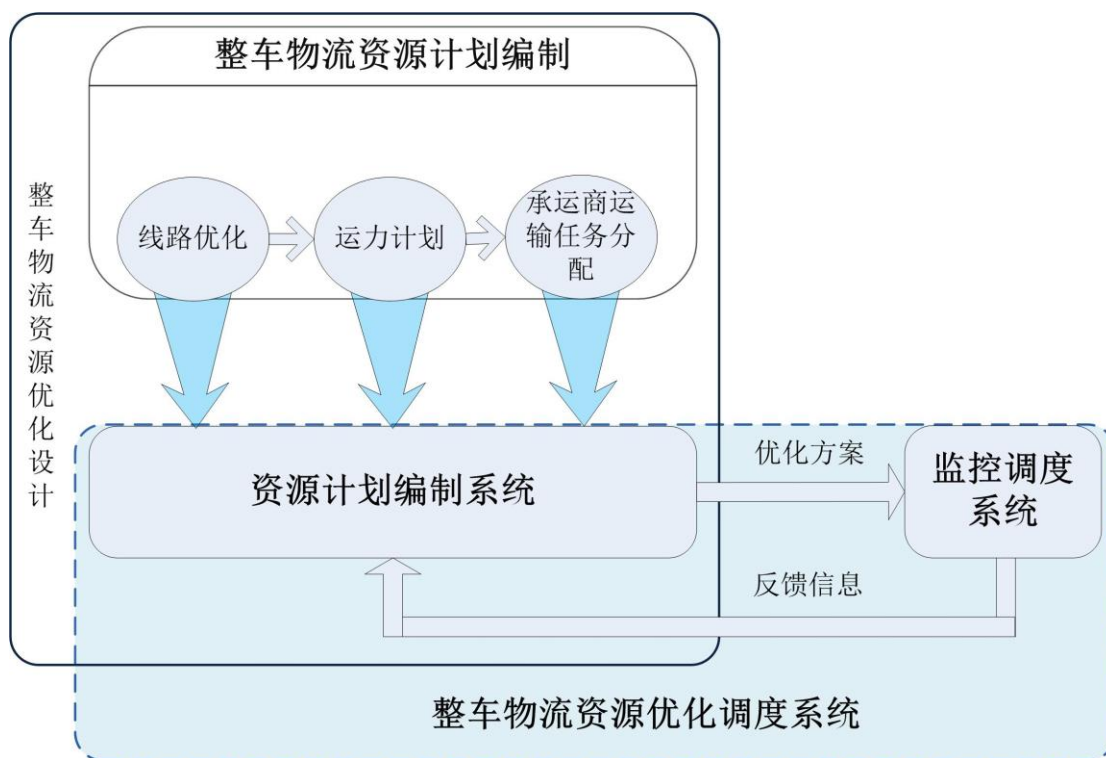


图 1-1 方案与系统关系图

如图 1-1 所示，资源计划编制工作主要包括线路优化、运力计划和承运商运输任务分配三部分，实际的计划编制工作需要一定的系统支撑完成。

整车物流资源优化系统分为计划编制系统和监控调度系统两部分，计划编制子系统作为实际的支撑系统，会完成资源计划编制工作以得到整车物流资源优化方案。整车物流资源优化系统的主要部分是资源计划编制，监控调度功能作为整个系统所具有的功能的完善补充，其监测信息在方案执行过程中会对计划编制有一定的影响，而最终的优化方案对实际的调度过程又会有一定的指导作用，因此监控调度会与计划编制形成一个闭环控制回路。鉴于目前安吉物流已经在监控方面有一定的成果，而且我们的主要内容是讨论资源计划的编制，因此我们不会详细介绍监控系统。

以上也是我们整篇设计方案的组织思路，即先介绍资源计划编制的流程和内容以及最终生成的资源优化方案，最后将介绍支持该方案具体实现的整车物流资源优化系统的设计。

首先我们将介绍资源计划编制的内容，根据以上的分析我们得到关于整车物流资源优化方案的总体架构如图 1-2 所示：

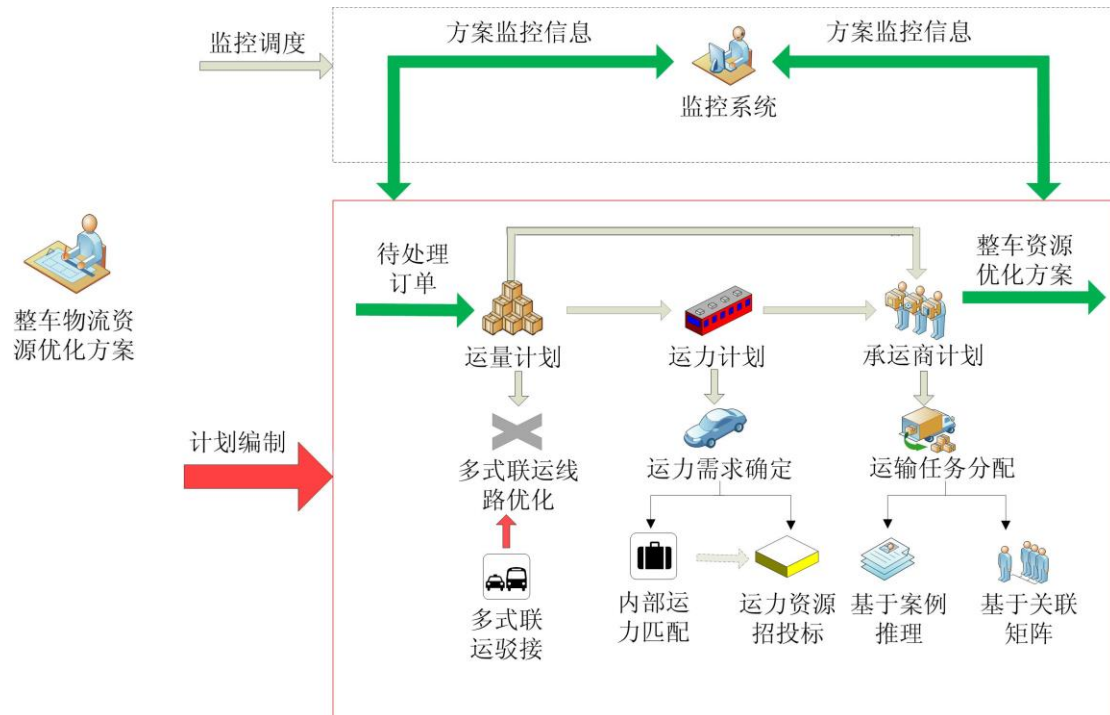


图 1-2 方案总体架构图

根据上图 1-2 所示的总体架构图，我们将对整车物流资源优化方案的编制流程和具体内容展开初步的分析和介绍。

- (1) 整个方案最初的输入是安吉总部所接到的厂家的整车运输订单。
- (2) 接收到订单以后，需要制定运量计划，进行线路优化，即订单制定具体的运输计划，以运输时间成本、直接运输成本和碳排放成本整体最小化为主要目标，得到优化的运输线路。
- (3) 根据已经确定好的运输线路，我们需要制定运力计划，即确定运力需求。将线路优化中确定的运输工具数量与企业内部实际运力进行匹配，当运力不足时，实际运作中是首先改换运输方式，看其他方式的运力状况能否满足现有订单运输需求；其次是联系厂家是否能推迟订单；最终如果订单无法推迟的话，就要考虑启用备用运输资源。
- (4) 运力资源招投标系统是获得备用运输资源的有效通道。由于实际运作中运力资源招投标系统的流程较复杂，而且操作时间长，因此我们会在每月初根据需求预测情况同时考虑应急情况而发布招募信息来招募承运商，即提前联系好外部运输资源。
- (5) 运力需求确定以后，需要给所有可用运力分配具体的运输工作，确定其

必须完成的具体的工作量。针对这个问题，我们采用了结合案例推理和关联矩阵两种方法。首先，将当前待解决情况与案例库中的案例进行相似度匹配，如检索出满足相似度等条件的案例，则提取该案例的解决方案，根据当前情况对其进行调整，以得到解决当前问题的新方案。如没有检索出满足条件的方法，则采用关联矩阵的方法，分别对运输任务和承运商评估等级，以优先机制两者匹配，以重要订单由等级高的承运商运送为准则，制定出承运商计划。

- (6) 最终输出的结果即为整车资源优化方案，根据该优化方案生成实际的调度指令，调度员会根据调度指令相应订单的实际配送过程，并通过监控调度子系统对正在配送运输过程中的订单进行实时的监控，将监控信息反馈给调度员，如果出现意外情况，调度员会根据反馈的监控信息对调度指令做出相应的调整和修改。

2 基于两级分拨的线路优化

2.1 问题背景

根据案例三中的描述，安吉物流现采用的是“两级分拨发运”的配送体系。如图 2-1 所示，各生产基地的成品整车由整车分拨中心（Vehicle Distribution Center, VDC）运至各整车仓储中心（Vehicle Storage Center, VSC），然后交付于授权经销商或直销客户。

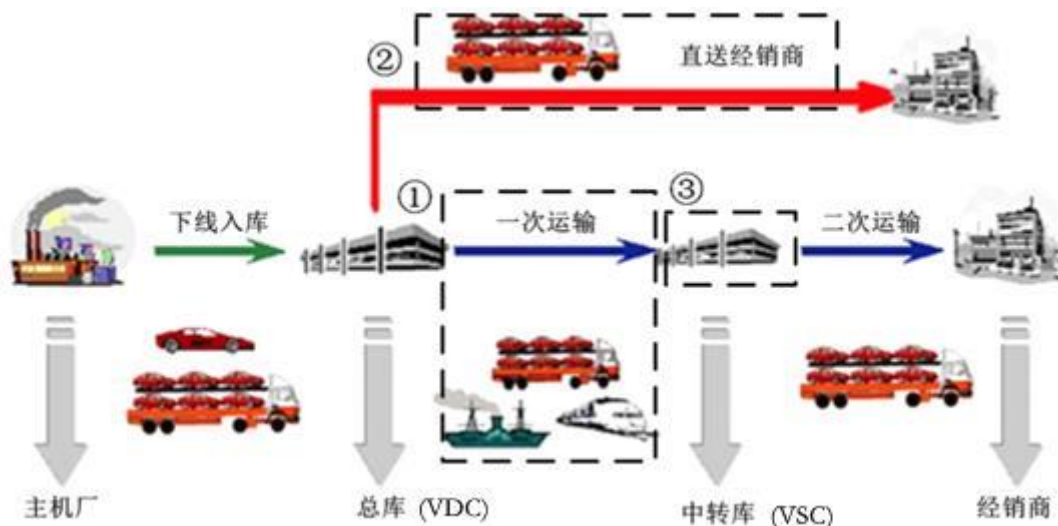


图 2-1 “两级分拨发运”体系

安吉物流的整车物流业务采用了公路、铁路和水路三种运输方式，各运输方式的使用现状如图 2-1 所示。由于各运输节点间都有公路相连，形成了物流网络体系，构成了复杂的车辆路径问题（Vehicle Routing Problem, VRP）。然而，在复杂的运输网络中，数据的获取有较大的难度，目前安吉公司采用一些简化的解决方法，但是仍存在以下一些不足之处：

- （1） 采用业务合同约定的里程数、实际运作所产生的里程数等数据，来确定运输距离，并取其最小值，失实的运输距离导致无法选取最优的运输策略，增大了运输成本；
- （2） 利用节点的地理位置信息（经纬度）转换为实际距离，然后根据人为经验进行调整，由于人的参与，导致数据的真实性降低，无法更好的体现真实

的信息，导致运输策略的误差；

- (3) 公、铁、水运量分配主要是由计划人员对不同线路不同运输方式的运量进行多种设定，比较各种方案下的运输时间成本和直接运输成本之后凭借经验选择一种，单独依据运输时间成本和运输成本，不能很好的体现一批订单的价值，同时失去了选择折中的更好的方法；
- (4) 公司在全国的整车仓库有 24 个，整车的运输在一次运输中采用水路、铁路和公路三种运输模式，其中公路占绝大部分，在二次运输中全部采用公路运输模式。因公司一级运输的线路多数选择公路运输，这样就在很大程度上增大运输费用。

以上不足反映了人工操作存在的主观性和信息的不准确性所带来巨大的成本负担。我们将重点解决以下三个问题，相关的内容在图 2-1 中已标注。

- ①针对一次运输的最佳运输方式及线路优化；
- ②针对从总库（VDC）到经销商直接发货的最佳运输方式及线路优化；
- ③针对短驳过程的多式联运高效驳接。

其中，我们将中转库（VSC）和直接发货的经销商等统称为需求点，这样前两个问题将归结为从总库（VDC）到需求点（VSC 或经销商）的多种运输方式下的线路优化问题，针对这一问题，我们建立了多式联运模型，可以同时解决前两个问题。

2.2 多式联运模型

随着经济的迅速发展，单一的运输方式越来越不能满足来自客户的敏捷制造、快速响应市场、物流供应链管理等诸多方面的需求，需要多种运输方式相互配合。现代汽车物流运输系统已经不是由传统的单一的运输方式构成的了，而是由海、陆、空等不同的运输方式有机的组合在一起的连续的、综合的多式联运形式，它能够实现货物整体运输的最优化，因此我们在模型中引入多式联运的思想。当我们单独考虑时间成本，即要求最短时间到达，多式联运的模型又可以退化为单纯的公路运输模型。

在这里，我们主要涉及到的是多式联运应用于 VRP 问题，VRP 问题首先是由 Danting 和 Ranser 于 1959 年提出的，主要涉及：组织的行车路线，约束条件为需求量、发送量、车载容量限制、行程限制、时间限制等。而我们又增加了时间成本和碳排放成本在整个模型中的比重，并把运输方式加入到模型中，达到在

多种运输方式运输下的费用最短，耗费时间尽量少，碳排放最低的多目标优化的目标。

基于线路优化问题中的模型，在每两个节点间加入 k 种运输方式以供选择，运输方式主要考虑公路、铁路和水路。既考虑 VDC 到 VSC 的一次运输，也考虑从 VDC 到经销商 O 直接发货的最佳运输方式及线路优化。如图 2-2 所示：

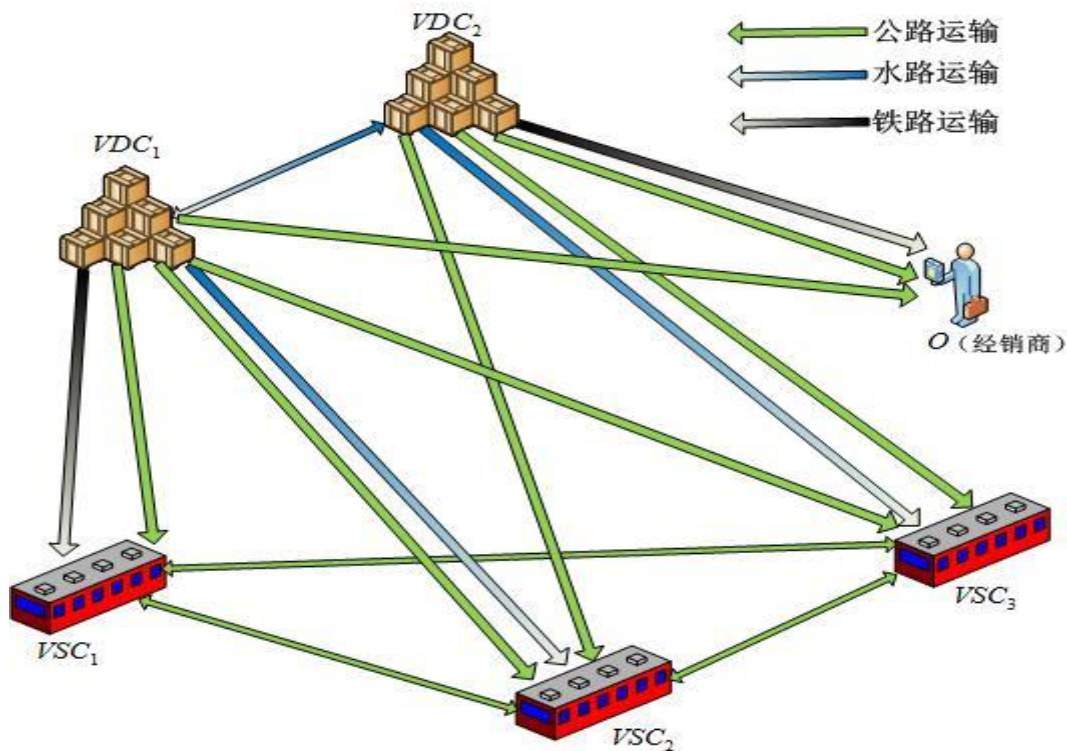


图2-2 配送运输示意图

我们需要选择整个运输过程中所途经的节点及节点间最佳的运输方式和运输路径组合，以使总运输费用最低，且尽可能满足用户交货期的要求。我们提出以下模型假设及符号说明：

● 模型假设

假设 1 货物的转载只能发生在节点，且在各节点最多进行一次转载；

假设 2 货物在节点间只能整批运载，不能分割。

● 模型符号说明

Ω -城市的集合，既包括 VDC 也包括 VSC 和经销商；

K -运输工具的集合，包括四种运输方式（公路运输，海运，江运，铁路运输）；

$$X_{ij}^k = \begin{cases} 1 & \text{在城市 } i \text{ 与城市 } j \text{ 之间选择第 } k \text{ 种运输方式} \\ 0 & \text{选择其他运输方式} \end{cases}$$

c_{ij}^k - 从城市 i 到城市 j 选择第 k 种运输方式的实际运输成本；

c_{rij}^k - 从城市 i 到城市 j 选择第 k 种运输方式的原始运输成本；

c_{tij}^k - 从城市 i 到城市 j 选择第 k 种运输方式的额外运输成本（包括运输税率、租赁费、驳接成本、油费等）；

b_{ij}^k - 从城市 i 到城市 j 选择第 k 种运输车的碳排放量；

d_{ij}^k - 从城市 i 到城市 j 按运输方式 k 测量的距离；

t_{sj}^k - 城市 j 第 k 种运输方式到其他运输方式的中转时间；

t_w^k - 第 k 种运输方式的闲置时间；

t_c^k - 第 k 种运输方式的运行时间；

f_{ij}^k - 从城市 i 到城市 j 选择第 k 种运输方式的运载能力；

m_{ij}^k - 从城市 i 到城市 j 选择第 k 种运输方式的运载容量；

n_{ij}^k - 从城市 i 到城市 j 选择第 k 种运输方式的数量；

v_t^k - 第 k 种运输方式的运速；

α^k - 不同运输工具的运输阻滞率；

β_{ij}^k - 从城市 i 到城市 j 选择第 k 种运输方式运输时运输成本的波动率；

γ_{ij}^k - 从城市 i 到城市 j 选择第 k 种运输方式运输时碳排放的波动率；

w_l - 运输的评价指标的权重， $\sum_l w_l = 1$ ，其中 w_1 代表直接成本权重， w_2 代表时

间成本权重， w_3 代表碳排放的权重，即表示对各指标的重视程度；

F - 运输的总评价指数。

- 目标函数与约束条件

我们以运输工具选择、单位运费为约束条件，以直接运输成本、时间成本和碳排放成本最小为目标，建立以下数学模型：

$$F = \min \left(w_1 \cdot \sum_{i \in \Omega} \sum_{j \in \Omega} \sum_{k \in I} (x_{ij}^k \cdot \beta_{ij}^k \cdot c_{ij}^k \cdot d_{ij}^k \cdot n_{ij}^k + x_{ij}^k \cdot c_{tij}^k) \right. \\ \left. + w_2 \cdot \left(\sum_{i \in \Omega} \sum_{j \in \Omega} \sum_{k \in I} \left(\left\lceil \frac{d_{ij}^k \cdot x_{ij}^k \cdot f_{ij}^k}{\alpha^k \cdot v_t^k \cdot t_c^k} \right\rceil + x_{ij}^k \cdot t_w^k \right) + 2 \sum_{i \in \Omega} \sum_{j \in \Omega} \sum_{k \in I} (t_{sj}^k \cdot s^k \cdot f_{ij}^k) \right) \right. \\ \left. + w_3 \cdot \sum_{i \in I} \sum_{j \in I} \sum_{k \in J} (x_{ij}^k \cdot \gamma_{ij}^k \cdot b_{ij}^k \cdot d_{ij}^k \cdot n_{ij}^k) \right) \quad (2-1)$$

$$s.t. \begin{cases} c_{ij}^k = \begin{cases} c_{rij}^k & m_{ij}^k \leq f_{ij}^k \\ 1.5c_{rij}^k & m_{ij}^k > f_{ij}^k \end{cases} & \forall i, j \in \Omega \quad \forall k \in K \end{cases} \quad (2-2)$$

$$s.t. \begin{cases} s^k = \sum_{i \in \Omega} \sum_{j \in \Omega} x_{ij}^k & \forall k \in K \end{cases} \quad (2-3)$$

$$s.t. \begin{cases} \sum_l w_l = 1 & \forall l \in L \end{cases} \quad (2-4)$$

$$s.t. \begin{cases} \sum_{k \in J} x_{ij}^k = 1 & x_{i,j} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in \Omega \end{cases} \quad (2-5)$$

- 模型说明

目标函数（2-1）表示对直接运输成本、运输时间成本和碳排放成本三个目标加权求最小值。

其中，直接运输成本，不仅与所选路径的长度，选择的运输方式数量，费率决定，而且还包括额外费用；运输时间成本，包括运输时间 $(d_{ij}^k \cdot x_{ij}^k \cdot n_{ij}^k / v_t^k)$ ，闲置时间 (t_w^k) 和中转时间 $(t_{sj}^k \cdot s^k)$ ；碳排放成本，只与所选路径的长度，选择的运输方式数量，碳排放率决定。

w_1 代表直接运输成本权重， w_2 代表运输时间成本权重， w_3 代表碳排放权重，对于直接运输成本、运输时间成本和碳排放成本的重视程度取决于对 w_1 、 w_2 和 w_3 的取值。

约束条件（2-2）表示费率，超额运力价格为原价格标准上浮 50%，在特殊情况下，允许超额运输，但要提供相应的超载费用；

约束条件（2-3）表示每种运输工具的中转次数；

约束条件（2-4）表示目标函数中的子目标权重总和为 1；

约束条件（2-5）表示每段运输线路必须有运输工具使用。

此外，参数 α^k 为运输阻滞率，在模型中我们之所以设定变动因子 α^k ，是用于对订单处理前的运输线路的实际情况进行调整，得到可变动的、最新的线路属性，模拟模型在突发状况下灵活性和稳定性。

针对突发事件的特点，我们可以讲突发事件分为自然灾害类、人为灾害类和混合类，在[8]中提出了对运输过程中突发事件的预警评级，我们对其评级进行量化，得到不同天气情况下参数 α^k 的取值。

对于各种突发事件，有些对运输过程并无太大影响。例如小雨、干旱、环境污染等，可按照正常情况处理或者做适度调整；有些会影响运输速度，延长运输时间，例如大雨、交通拥堵等，调整事件的严重程度，调整 α^k ，使其取值在 0.30~0.70 之间，来调整线路；而有些直接阻断运输，例如暴雪、洪水、地震、道路坍塌等，道路属性降至最低， α^k 取值在 0.1 以下，认为不宜行驶。在此，我们列举部分雨雪天气，采用公路运输时， α^1 的评分规则，如表 2-1。

表 2-1 雨雪天气采用公路运输时 α^1 的评分规则

类型	特征	α^1
正常	晴天或阴天，潮湿度高，对运输完全无影响	1
小雨	潮湿或有少量积水，路面摩擦系数稍有下降，对交通基本无影响	0.98
中到大雨	有大量积水，路面摩擦系数明显下降，车轮打滑，刹车失阻	0.50
暴雨	低洼处积水漫上路边，车辆行驶十分缓慢，低洼处交通受阻	0.10
小雪	路面基本无积雪，对行驶影响不大	0.90
中到大雪	积雪覆盖路面，影响行车和刹车	0.50
暴雪	路面积雪深厚，行车困难，交通受阻	0.05
雨加雪	冰水混合物，气温下降可形成冰面	0.01

2.3 基于蚁群算法求解多式联运模型

由模型可知，本文所研究的问题是一类求解多目标、多权重值、多约束的运输网络调度问题。该问题已被证明是 NP- Hard 问题，精确计算所花费的成本随

随着问题规模的增大呈指数增长，因此采用智能启发式优化算法的求解效果会更好。对于运输线路来说，交通网络复杂，可行线路成百上千，根据上述问题的求解特点，可采蚁群算法。

2.3.1 蚁群算法求解车辆路径问题的优点

蚁群算法(Ant Colony Optimization, ACO)，又称蚂蚁算法，是一种用来在图中寻找优化路径的机率型算法。它由 Marco Dorigo 于 1992 年在他的博士论文中提出，其灵感来源于蚂蚁在寻找食物过程中发现路径的行为。蚁群算法具有搜索能力，可以从解空间中多点出发搜索问题的最优解，适合于大规模复杂优化问题的求解。在解决 VRP 问题中，蚁群算法也表现出了其特有的求解特征：

- (1) 具有一定的通用性，可用于求解同一类型的优化问题，这样可以把 VRP 问题直接扩展到非对称性的 VRP 问题；
- (2) 较强的鲁棒性，要将蚁群算法用于求解其它组合优化问题时只需要做很小的改动；
- (3) 该算法体现了群体智能，也就是具有群体智能的协作性，分布性，鲁棒性以及快速性的特点；
- (4) 分布式计算，它是一种基于种群的进化算法，具有并行性。

2.3.2 基于蚁群算法求解多式联运模型的思路

随机生成 m 个城市结点，将 n 只蚂蚁分别放在每一个城市上去，每只蚂蚁通过“状态转移规律”选择下一个要访问的城市，每只蚂蚁趋向于访问具有较高信息素浓度的路径。当所有的蚂蚁完成了一次巡回后，即启动全局信息素更新机制及信息素挥发机制，而每只蚂蚁在它走过的路径的每一条弧上释放与它所找到的路径长度成反比的信息素。之后，每只蚂蚁又开始新的巡游，直到满足停止条件为止。

● 状态转移规则

在城市 r 的第 k 只蚂蚁选择转移到城市 s 的概率计算方法为：

$$p_{ij} = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_k} [\tau_{iu}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{iu}]^\beta} & i \in J_k \\ 0 & other \end{cases} \quad (2-6)$$

其中, $\eta_{ij} = 1/F_{ij}$, F_{ij} 表示城市 i 与城市 j 之间的总运输成本, η_{ij} 表示由城市 i 到城市 j 的期望程度。 $\tau_{ij}(t)$ 表示城市 i 与城市 j 之间的信息素量, J_k 表示第 k 只蚂蚁还未访问过的城市, 参数 β 是用于调节 $\tau_{ij}(t)$ 与 η_{ij} 之间关系的参数, 其表示蚂蚁在运动过程中所积累的信息与启发式因子在蚂蚁选择路径中所起的不同作用, 具体来说即表示一条路径上的信息素浓度与该路径的长度倒数哪一个在概率计算中的重要性更大。

每只蚂蚁在建立一个解的过程中也同时进行信息素的局部更新过程, 对它所经过的路径上的各条弧按下式调整信息量强度:

$$\tau_{ij}(t) = (1-p)\tau_{ij}(t) + p\Delta\tau_{ij}(t) \quad (2-7)$$

其中, p 表示局部信息素的挥发因子, 则 $1-p$ 表示信息素的保留率, 为了防止信息的无限累积, p 的取值范围限定在 $(0,1)$ 之间。 $\Delta\tau_{ij}(t)$ 为信息素增加量, 即蚂蚁 k 在时间段 t 到 $(t+n)$ 的过程中, 在从城市 r 到城市 s 的路径上的增加的信息素浓度。

蚂蚁选择下一条路径的方法是:

$$j = \begin{cases} \text{Arg Max } \{ [\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta \} & \text{if } q \leq q_0 \\ J & other \end{cases}$$

其中, q 为均匀分布在 $[0,1]$ 上的一个随机变量, q_0 为在 $[0,1]$ 上的参数, J 是根据式 (2-6) 计算出来的概率分布来进行选择。当 $q > q_0$ 时, 使用随机选择的方式选择下一条路径, 该方式称为开发方式 (exploitation); 当 $q \leq q_0$ 时, 根据式 (2-7) 选择概率最高的路径 (即信息素浓度最大的路径), 该方式称为探险方式 (exploration);

由于本问题属于多目标问题, 因此, 对于该目标问题采取等级权重法求解, 分别对直接运输成本, 运输时间成本和碳排放成本设置权重。由于不知道安吉物

流对各指标的重视程度，因此采取浮动权重的评价体系，即由外部输入权重值来确定权重值。

蚁群算法的具体实现步骤如图 2-3 所示：

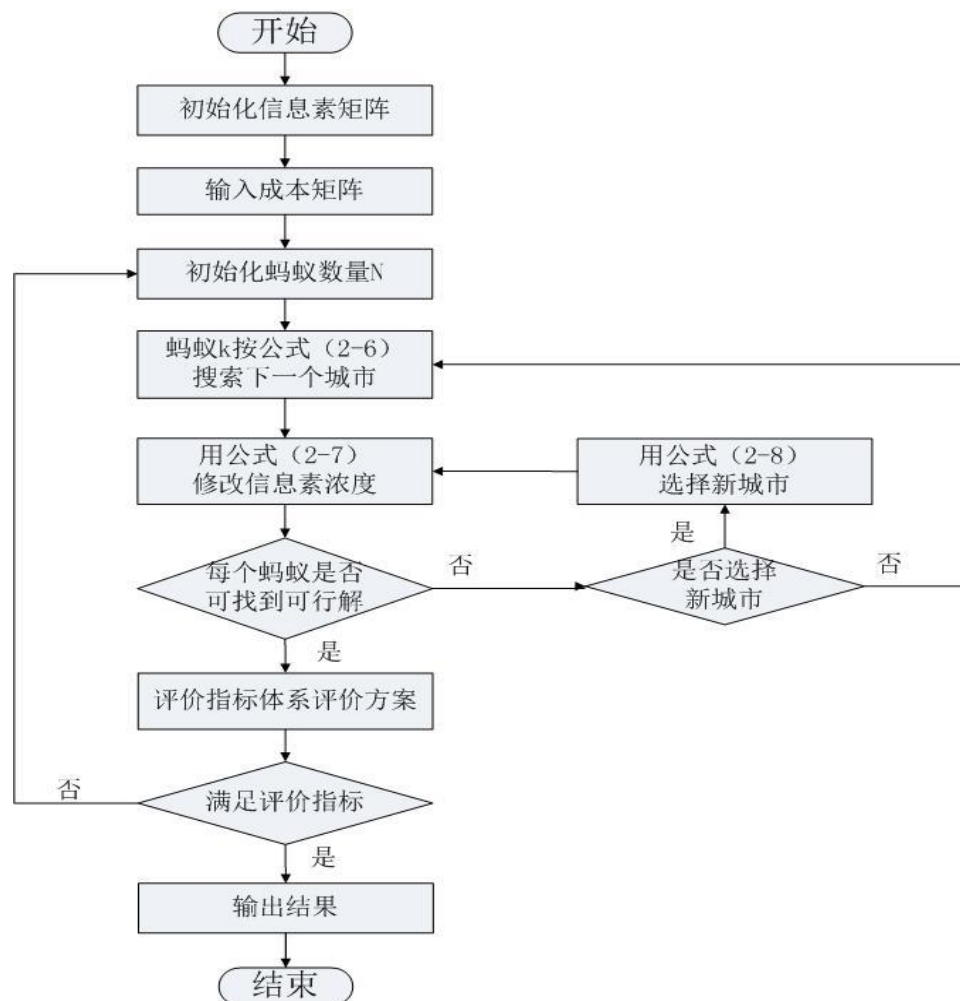


图 2-3 程序执行流程图

- (1) 初始化各基本参数；
- (2) 输入成本矩阵；
- (3) 设置循环次数 N ；
- (4) 根据随机产生的 q 值，按照式 (2-6) 为每一只蚂蚁选择下一条移动的路径；
- (5) 当每一只蚂蚁都走过一条边到达下一城市后，就按式 (2-7) 的局部更新规则对这条边进行一次信息素的局部更新；
- (6) 对每一只蚂蚁重复以上循环执行(3)到(4)，直到每一只蚂蚁都生成到达全部城市的路径，再循环中式 (2-8) 探测是否需要选新城市，如果选新城市，执行(3)，否则执行步骤(4)；在生成的全部路径中，根据评价指标体

系，确定一条路径，则走过该路径的蚂蚁就是最优蚂蚁；

- (7) 重复执行(2)到步骤(7)，直到执行次数 N 达到指定的最大迭代次数或连续若干代内没有更好的解出现为止；
- (8) 输出结果。

算法的编码见附件一。

2.4 实例分析

我们以案例 6《汽车物流运输方式及线路的优化》所提供的信息进行实例分析，如表 2-2 所示，为上海汽车 A 和 B 品牌汽车某月的销量表。

表2-2 上海汽车A和B品牌汽车某月销量表

城市	A 销量（辆）	B 销量（辆）	城市	A 销量（辆）	B 销量（辆）
长沙	320	280	南京	2678	1958
武汉	301	266	上海	1430	900
南昌	265	229	合肥	362	268
杭州	1030	1384	广州	576	858
西安	280	210	南宁	146	110
兰州	160	110	福州	326	246
银川	102	73	海口	59	47
郑州	523	468	北京	268	184
昆明	255	344	天津	190	228
贵阳	108	111	石家庄	436	471
成都	890	1038	哈尔滨	120	130
重庆	360	288	沈阳	462	365
拉萨	32	10	长春	254	191
乌鲁木齐	217	169	济南	1247	997
呼和浩特	268	224	太原	210	179

各种运输方式的与运输时间相关的参数如表 2-3 所示。

表 2-3 运输方式特征参数模拟

运输方式	费用 (元/辆*公里)	运输标准说明
公路	2.0（不大于50公里） 1.7（不大于200公里） 1.5（不大于500公里）	轿运车装卸商品车时间均为0.5天，日行驶500公里

	1.3（不大于1000公里） 1.2（大于1000公里）	
海运 （内河）	1.0	每周二、六开航一次，装卸商品车时间均为1.5天， 船速400公里/天（仓位：300辆/海船，200辆/江轮）
铁路	1.1	每周二、六行驶一次，每周2次班列，装卸商品车 时间均为0.5天装载量：290辆/列，

注：超额运力价格为原价格标准上浮50%；费用价格a随市场油价变动

我们选取上海和南京两地作为 VDC，其他省会作为 VSC 或经销商，城市之间的各种运输模式下的距离矩阵见附件二。

2.4.1 实例求解

- 根据成都、重庆、贵阳和拉萨四地需求详细求解过程

选取上海、南京为 VDC，成都、重庆、贵阳和拉萨四地为 VSC，进行实例分析，详细需求数据如表 2-4 所述：

表 2-4 成都、重庆、贵阳和拉萨四地需求数据

VDC	VSC			
	成都	重庆	贵阳	拉萨
上海	890	360	108	32
南京	1038	288	111	10

对权重参数设置为 $w_1 = 0.4$ ， $w_2 = 0.4$ ， $w_3 = 0.2$ ，而对于 α^k 取值为 $\alpha^k = 1$ ，求解四地的各项成本，如表 2-5。

表 2-5 成都、重庆、贵阳和拉萨四地计算结果

城市	直接运输成本 F_1	运输时间成本 F_2	碳排放成本 F_3	总运输成本
成都	27817.8	32397.45	6467.408	25379.58
重庆	19179.6	41062.42	3522.072	24801.22
贵阳	38591.9	17695.64	8933.226	24301.66
拉萨	17360.1	33564.82	4691.962	21308.36

- 根据全国需求求解配送线路结果展示

相同参数的设置，选取全国的需求，将编好蚁群的 C#代码放入 Microsoft Visual Studio 中，运行程序，将得到最终结果输出到二维平面中，运行结果如图 2-4 所示：

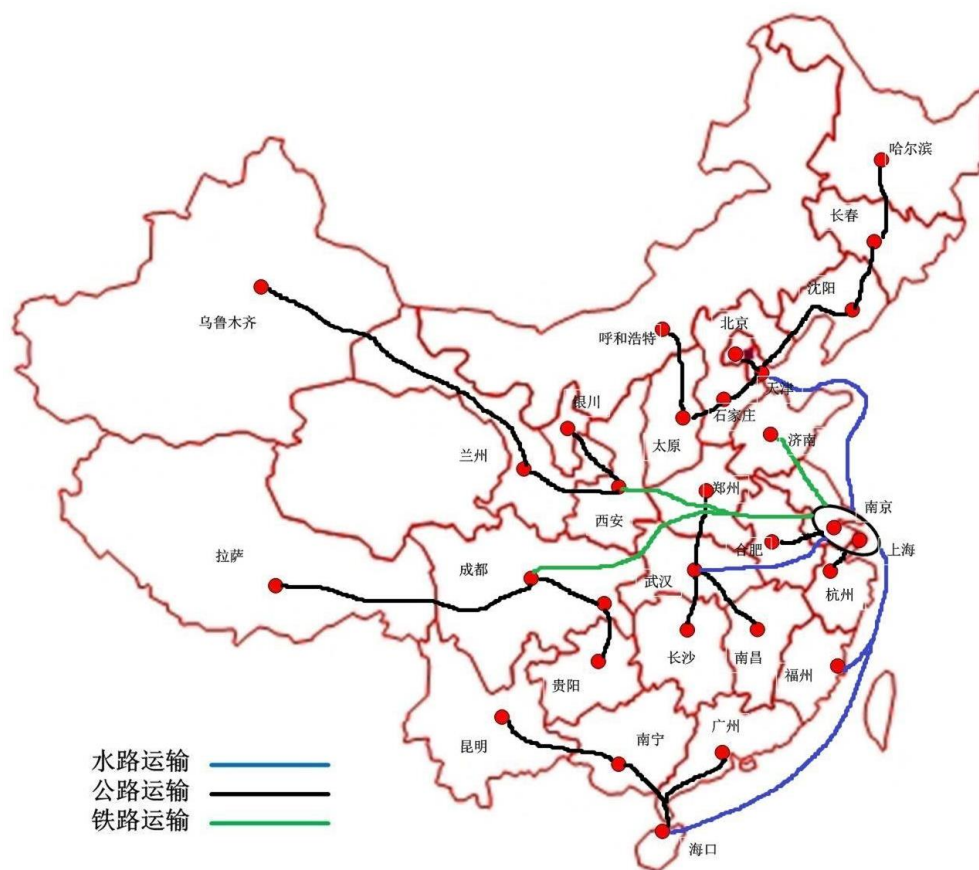


图 2-4 权重设置为 $w_1 = 0.4$, $w_2 = 0.4$, $w_3 = 0.2$ 运行结果示意图

我们将以全国需求为数据，通过调整权重值，观察不同权重参数 w_i 对运输线路的变化。

2.4.2 权重参数 w_i 对结果的影响分析

w_i 作为运输的评价指标的权重，用于衡量安吉对于运输过程中不同成本的重视程度。由于每批订单的紧急程度不同，因此我们对每批订单采取不同权重值，实现动态优化。

- 根据成都、重庆、贵阳和拉萨四地需求进行权重参数分析

分别对参数权重设置为 $w_1 = 1$, $w_2 = 0$, $w_3 = 0$ 和 $w_1 = 0$, $w_2 = 1$, $w_3 = 0$

情况下的四地运输结果与 $w_1 = 0.4$, $w_2 = 0.4$, $w_3 = 0.2$ 情况下的四地运输结

果相对比，总运输费用的对比结果如表 2-6 所示。

表 2-6 成都、重庆、贵阳和拉萨四地总运输费用对比结果

	不同权重下各城市总运输成本			最大总运输成本差量
	$w_1=0.4\ w_2=0.4\ w_3=0.2$	$w_1=1\ w_2=0\ w_3=0$	$w_1=0\ w_2=1\ w_3=0$	
成都	66682.65	97151.85	74933.11	30469.2
重庆	63764.09	63764.09	57999.54	57361.90
贵阳	65220.77	32096.82	134344.6	102247.8
拉萨	55616.88	55616.88	31713.69	23903.19

从表 2-5 中可以看出，当对不同的成本赋予不同权重时，最小总运输成本会相应发生变化，符合实际情况中对不同成本不同的看重情况。因此，对于不同订单的紧急程度，选取不同的权重，可以实现降低运输总成本的目的。

● 根据全国需求进行权重参数分析

以下是 $w_1=1$ ， $w_2=0$ ， $w_3=0$ 和 $w_1=0$ ， $w_2=1$ ， $w_3=0$ 情况下，选取全国的需求，将编好蚁群的 C#代码放入 Mircrosoft Visual Studio 中，运行程序，将得到最终结果输出到二维平面中，运行结果如图 2-5 和如图 2-6 所示：

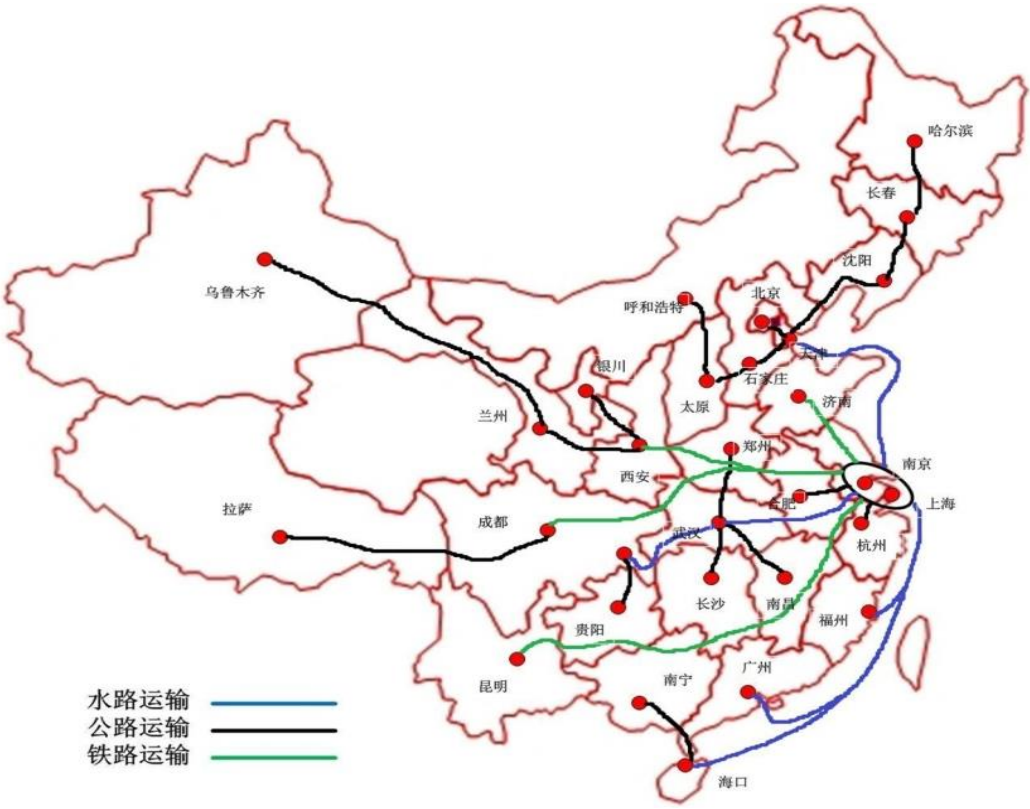


图 2-5 权重设置为 $w_1 = 1$, $w_2 = 0$, $w_3 = 0$ 运行结果示意图

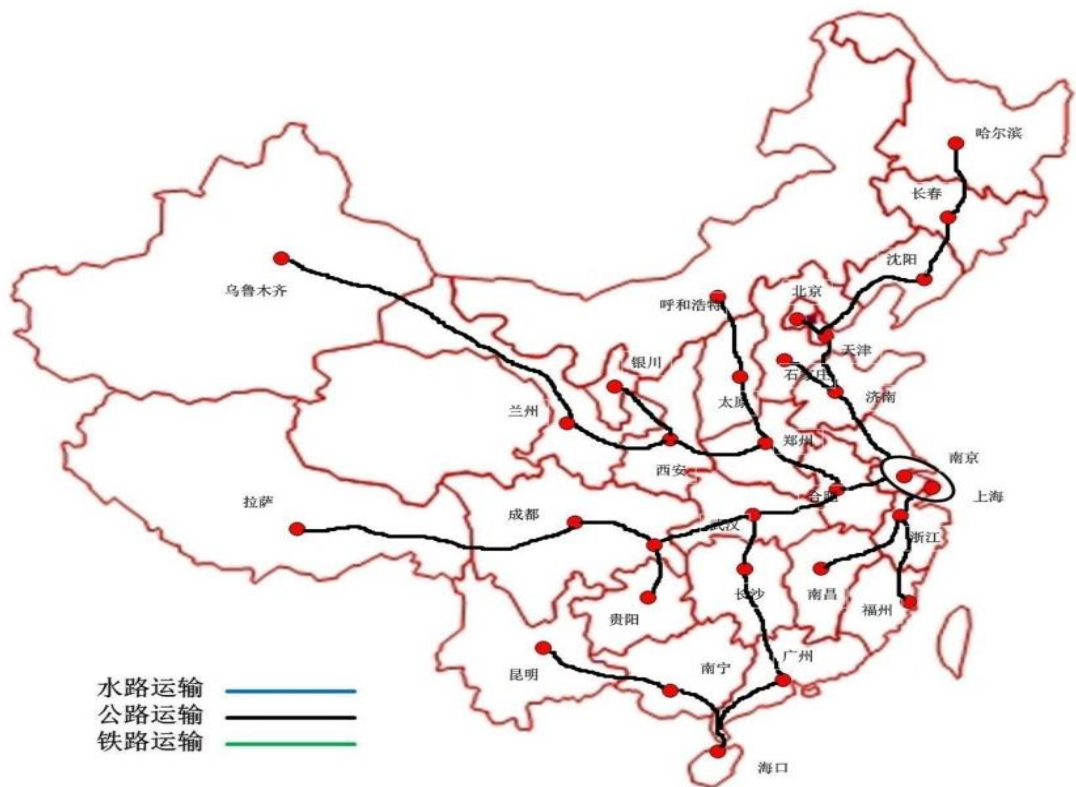


图 2-6 权重设置为 $w_1 = 0$, $w_2 = 1$, $w_3 = 0$ 运行结果示意图

分别统计三种不同权重设置下，公路，水路（含江运）和铁路运输所占比例，如表 2-7 所示。

表 2-7 根据全国需求的运输方式对比结果

各子目标所占权重	各运输方式所占比率		
	公路	水路(含江运)	铁路
$w_1=0.4$ $w_2=0.4$ $w_3=0.2$	62.58%	19.86%	17.56%
$w_1=1$ $w_2=0$ $w_3=0$	46.16%	27.17%	6.67%
$w_1=0$ $w_2=0$ $w_3=1$	100%	0	0

由表 2-6 可以看出，根据权重的取值，当 w_1 取值越大，即尽可能减小直接运输成本时，铁路和水路在运输中占的比重增大，时间运输成本也会相应的增加；当 w_2 取值越大，即尽可能减小运输时间成本时，公路在运输中占据的比重增大，直接运输成本也会增加。因此，根据订单的信息，动态选取权重值，有利于模拟实际情况选取最佳的运输策略。

2.4.3 运输阻滞率 α^k 对结果的影响分析

我国物流配送行业目前正处在转型期，面临的各种矛盾错综复杂，加上事故灾难、自然灾害和社会安全方面暴露的不和谐问题，随时随地都存着在爆发各种突发事件的可能性。由于突发事件的不确定性和危害性使得对突发事件的应对变得非常困难，因此突发事件应急管理随之产生。在物流应急中，主要是针对自然灾害、运输路线、运输工具等对正常物流业务造成的影响而采取的一种特殊物流活动，而在模型中我们通过设定变动因子 α^k ，来对订单处理前的运输线路的实际情况进行修正，得到可变动的、最新的线路属性，模拟模型在突发状况下灵活性和稳定性。

依旧选取成都、重庆、贵阳和拉萨四地的需求量进行运输阻滞率参数分析，设置重庆在不同天气状况下，不同运输工具的运输阻滞率，如表 2-8 所示，其他三地运输阻滞率参数不变。

表 2-8 不同天气类型下不同运输工具的运输阻滞率

运输工具 天气类型	公路 (α^1)	海运 (α^2)	江运 (α^3)	铁路 (α^4)
正常	1	1	1	1
小雨	0.5	0.95	0.98	1
暴雨	0.01	0.5	0.5	0.5

在不同 α^k 设置下，成都、重庆、贵阳和拉萨四地总运输成本之和对比结果如表 2-9 所示。

表 2-9 不同天气类型下成都、重庆、贵阳和拉萨四地总运输成本之和对比结果

天气类型	四地总运输成本之和
正常	95790.83
小雨	96086.92
暴雨	106013.4

根据结果可以看出，四地运输成本之和的最大差量为 10222.57，最大增加比率为 9.64%。在发生突发状况后，通过路线或运输方式的改变，增加少量成本，实现灵活的配送运输。

面对突发情况出现，会出现线路更改而引起的成本增加，由于技术改革和信

息的丰富，对于突发情况的发生和严重程度越敏感，评分体系越精确、越灵敏，线路优化的决策越接近现实。

2.5 多式联运高效驳接

多式联运过程涉及到多种运输方式的结合，而各种方式之间又存在差异，造成方式转换时效率低下的问题。因此本部分主要针对多式联运的运输方式之间的驳接问题，引进多式联运“无缝连接”的概念，改进和完善多式联运中各方式的驳接过程，提高驳接效率，做到完整高效的多式联运的管理。从而使整个运输过程更加一体化和高效化，提高整个运输过程的效率，同时节约运输成本。

2.5.1 无缝连接

无缝连接：对运输全过程中所涉及的各种运输方式和各个作业环节，通过资源优化整合与科学组织管理，实现系统各环节的有效衔接，以及不同运输方式间的相互转换、协调配合，尽可能满足其相互间的“无缝衔接”，从而保证集装箱安全、准确、迅速、方便地空间位移，并在准确的时间到达准确的地点。无缝连接的有以下特点：

- 时间无缝

这里的时间包括等待时间和作业时间，无缝运输的目标就是要使得等待时间和作业时间尽量的小，这就要求集装箱能在指定的时间到达，而且要提前作好准备工作，使得作业时间最小。

- 空间无缝

运输方式对接过程中可能存在一定的空间距离，因此，空间无缝的目的是要使两种运输方式之间的转换所经过的距离最短或空间最小。

多式联运的驳接时间由等待时间和作业时间组成。作业时间是用于多式联运驳接作业过程的时间；等待时间主要是铁路、水路方面由于受列车班次、船期的限制，存在着年度最大运能的限制。

(1) 等待时间

整个运输过程中，消耗在等待班次和船期方面的时间很多。等待时间主要是受铁路和水路运力限制的影响，由于两种运输方式下，运力不够，无法满足大量的订单运输需求，造成排队等待时间过长。想要减少等待时间，只能从宏观战略

层面进行改善，例如在铁路运输方面，要增加集装箱专用平车的保有量，提高集装箱货物运输速度，从而加大每周可用班次数量以及加快班次的使用频率。

(2) 作业时间

多式联运的驳接是一个复杂的系统工程，其中主要包括用于实际操作的硬件设施设备系统以及用于信息传递和管理的软件管理系统。造成驳接作业效率低下的主要原因包括各个运输部门的管理体制的不统一、用于运输和装卸搬运的设施与设备无法标准化、信息平台的构建不够完善。

对于安吉物流公司来说，要改善驳接效率，只能从减少作业时间方面入手，使实际驳接过程的作业效率最高，时间最短。下面我们将从这几个方面分别探讨提高驳接效率的方式和方法。

如图 2-7 多式联运驳接问题的整体解决思路所示，我们整个驳接过程将以现代化的管理信息系统为核心，结合联运驳接管理站，实现驳接计划的编制、运输工具的组织调度、商品的装卸搬运、单据的交接处理和信息的共享与传递。使整个驳接过程能够高效化和一体化地进行，提高了整个多式联运过程的效率。

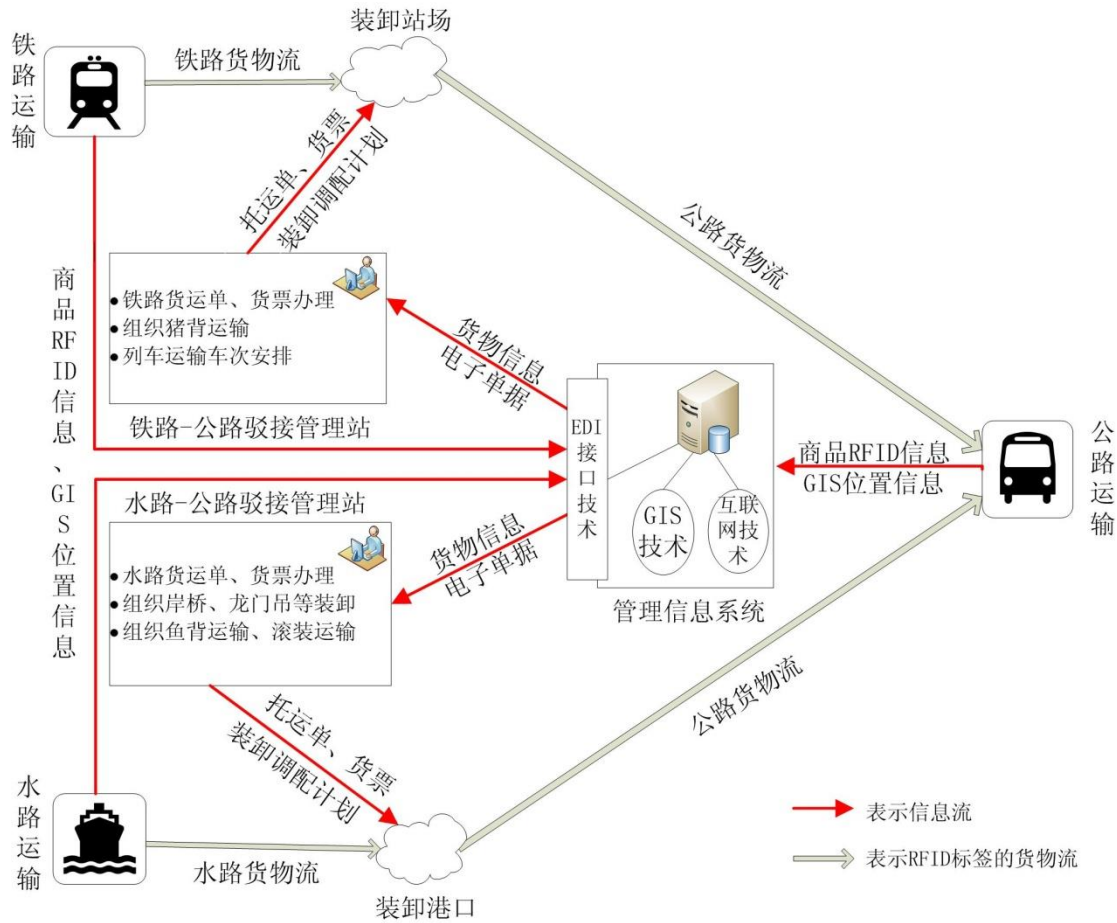


图2-7 多式联运驳接过程示意图

如图2-7所示，多式联运驳接过程主要包括铁路—公路、水路—公路之间的运输方式的转换。其中涉及到物流和信息流的传递和转换。

整个无缝驳接的主体部分是连接各种运输过程的现代化的管理信息系统，运输过程中的商品信息以及单据信息会汇总到该信息系统，同时信息又会从该信息系统传递到各个运输实体站点，保证了信息的全网一体化和更新快速化，减小了实际操作的差错率。

同时还设立有联运驳接管理站管理驳接相关业务，该管理站与信息系统结合，充分利用实时的商品信息和运输信息，管理驳接相关业务，从运输单据的交接办理到实际装卸搬运工作的组织都会由驳接管理站专门负责。这样使得驳接业务的操作更加专业化，提高了驳接效率。

另外还会涉及到运输单据等额标准化和电子化以及运输方式的多样化等等方法来充分提高驳接过程的效率。具体的内容将在下面讲到。

2.5.2 管理体制

多式联运是一种跨地区、跨行业的运输组织方式，但由于我国交通运输行业实行的是条块管理，各种运输方式分头管理；运输通道和枢纽各成体系，缺乏统筹规划、协调衔接；联合运输、多式联运被切割，难以形成系统优势，同时也大大增加了多式联运时间和费用。因此，我们提供如下解决方法：

现在一些地区根据运输市场发展需要，已经率先建立了本地区运输的综合管理机构，如交通运输委员会等，以协调和统一管理铁路、公路、水路、航空业，这对协调各种运输方式之间的关系，完善运输市场体系，规范市场竞争时序都起到了一定的促进作用。

我们这里所讨论的主要是铁路、水路和公路运输方式之间的单次转换过程，因此，借鉴以上解决思路，可以考虑在铁路和公路之间以及水路和公路之间设立一个专门用于办理运输衔接的各项业务的机构，以协调利益机制，统筹负责多式联运的实施、监控。这个联合载体由铁路和公路或是水路和公路共同管理。

- **设立地点：**在主要的铁路装卸点和水路装卸点设立这样的站点机构。例如铁路运输方式中，在火车站设立这样的“铁路—公路”衔接站点，既可以负责由

铁路换乘公路运输方式的相关业务的处理，也负责由公路换乘铁路的相关业务处理。

- **功能：**联运事业的办理载体，能处理涉及联运全程运输的商务性事务和衔接性服务工作；是联运全程运输衔接的组织实体，接续运输的技术、业务组织按一体化运输方式整合；是联运经营业务开展的经济实体，参与者利益机制得到协调，互惠互利。在经营方式上，突破过去自成体系、分开经营的传统方式，实行一个窗口面对货主，合署办公，货主在该站点一处即可完成铁路、水路间集装箱的收发、运输、中转、代理等业务及其相关的如装卸存储、报关报验等其它业务。

2.5.3 设施设备

多式联运时间的长短主要取决于在途运输时间和不同运输方式转换时间。运输设备完成车辆在不同节点的空间位移，装卸设备实现其在不通运输方式之间的转换。各种运输设备和装卸设备的性能、配置都会影响无缝衔接的程度。而由于运输工具的不统一、装卸搬运工具的非规范化，影响了驳接过程的效率。因此，我们提供如下解决思路：

(1) 工具设备标准化

运输设备完成货物在不同节点的空间位移，装卸设备实现商品车在不通运输方式之间的转换。各种运输设备和装卸设备的性能、配置都会影响无缝衔接的程度。

- **公路：**主要的运输工具是由牵引车牵引的集装箱挂车。
- **铁路：**主要运输工具是专用列车，包括敞车、棚车、平车，可以装载货物本身，也可以装载载有货物的汽车挂车。
- **水路：**水路运输包括海洋运输以及内河运输，其中以内河运输为主。主要的装卸搬运设施设备包括：堆场、岸桥、龙门吊、起重机、集卡等。用于装运的船舶包括江轮和海轮，也可以分为集装箱船、滚装船、散货船等。

由以上可以看出，不同的运输方式的运输、装卸工具存在很大差别，下面将对于铁路到公路、水路到公路两种主要驳接过程进行分别的讨论：

- **铁路——公路：**公路与铁路运输方式的转换主要是在铁路的站场进行，由于铁路运输工具比较单一，所以运输工具的转换形式也比较单一。对于直接

将货物装入列车的情况，需要使用到一定的装卸设备，将货物从汽车卸下再装入列车。

- **水路——公路：**公路与水路运输方式的转换主要是在码头进行。对于普通的货船运输，需要用到岸桥、龙门吊等装卸设备将货物从堆场或是直接从公路运输车辆上装载到货运船上；采用滚装船运输方式，直接将装有货物的汽车挂车牵引上滚装船。

多式联运无缝衔接要求硬件系统的标准化，使线路、港站建设及载运机具的配置按一定的标准进行建设，便于场站枢纽多式联运体系中硬件系统的有效配合与相互转换，为多式联运进行提供良好的物质基础。

● **最优化工具数量**

在标准化工具设备的同时，也需要考虑工具设备的投入量在什么情况下对驳接作业是最合适的，这需要考虑实际的现场作业因素。例如在水路运输方式中，在确定龙门起重机的投入数量时，需要考虑码头布局、堆场的大小和布局、码头每天的货物流通量、集卡等短途运输工具的数量、江轮或海轮的装载量等等因素，使得货物的装卸效率最高同时又不会造成由于数量过多使龙门吊空闲资源浪费。

(2) 运输方式多样化

既然运输工具无法完全统一，就要考虑在现有条件的基础上，尽量缩短运输工具转换的中间时间。可以采用如下运输形式：

- 卡车挂车上火车的“猪背运输”
- 挂车上飞机的“鸟背运输”
- 挂车上轮船的“鱼背运输”
- 卡车上轮船的“滚装运输”

这些方式都避免了中间的装卸环节，直接换乘另外的运输工具运走，同时也使货物到达目的地以后，直接转成公路方式实现门到门运输。

2.5.4 信息平台

多式联运无缝衔接要求及时、准确地从各个环节的大量信息中筛选出合适和准确的信息，以便调控多式联运活动。信息传递不及时或者共享不充分，都会造成子系统之间会产生断层和延误，致使多式联运衔接过程效率降低。

实际运作中，各种运输方式在进行货物运输时由于各自使用的货运票据形式不同，必然会产生用手工多次办理运送票据的工作，诸如整理、抄摘、传递等等，虽然在大多数情况下这些票据中的指标选定差别并不太大，但是从一种运输方式发送到另一种运输方式在换装站办理新的货运票据，必然导致停留时间的延长，从而也延长了送达期限。因此，我们提供如下解决思路：

(1) 运输票据标准化

- 公路运输的主要票据包括：公路货物运单（托运单）、货票、物品清单、车辆调度登记表、运输变更申请书等。
- 铁路运输的主要票据包括：铁路货物运单（托运单）、货票等。
- 水路运输的主要票据包括：水路运输合同、水路货运单、水运货票，装货清单，载货清单等。

对于这两种主要票据，公路、水路、铁路三方面的制票形式不同，制票内容也有所不同，目前由于不同运输部门之间存在一定的独立性，票据也很难实现统一化、标准化。

美国1969年成立了运输领域情报协调的政府委员会(TDCC)，其职能包括制订对所有运输方式都统一的、运输的、地理的和其他项目的编码方法，建立通用的主字码，以及制订和批准办理信息传输的规模、结构和工艺的标准。

我们可以借鉴这种方式，对于不需要经过有关部门的票据实行统一化、标准化管理，而且尽量使用无纸化、电子化的票据，减小手工传抄过程的差错率，使票据传递工作简单易行。对于需要经过相关运输部门的运输票据，只能按照各自的标准处理。运输票据的标准化还需要国家从长远利益出发，对各个运输部门进行一定的组织调控，制定相关的行业标准，以更好的促进多式联运的发展进程。

(2) 基于智能型射频识别技术的现代化管理信息系统

建立统一的公共物流信息平台，并且基于RFID、EDI和互联网技术实现电子信息的采集、电子数据的传输和电子数据的交换,不仅把集装箱多式联运的多式联运经营人、集装箱班轮公司、船舶代理公司、汽车运输公司、铁路运输公司、航空运输公司等运输部门互相联结在一起，而且把发货人和收货人以及“一关三检”、银行和保险等外贸部门、监管查验和服务部门相互联结在一起,从而使整个集装箱多式联运系统的有关部门相互“联通”，实现信息互联。

基于以上现代化信息技术而建立的信息系统，本质上是对正在运输货物信息的全程动态追踪的系统。通过不同部门之间的信息互联，我们可以很方便的查询

到各种运输方式下的货物的运输信息，从而安排好各自下一步的活动；起点处，录入相关订单的信息和货物信息；运输过程中，有对信息的动态追踪；中间转换点处，有关于运方式的转换，修改确认相关信息；运输终点处，最终的交付确认信息。

2.5 本章小结

本章通过蚁群算法，为安吉物流解决了将多式联运应用于车辆运输问题，提供了多种运输方式下的运输线路优化的方案，并针对提出了多式联运，提出了高效驳接的理念。

3 运力资源招投标系统

3.1 系统背景

3.1.1 安吉现状分析

从案例中我们了解到，安吉物流的整车物流采用总集成总承包模式。安吉物流本身并不直接拥有轿运车、滚装船等运输工具，而是通过控股或参股其他运输企业以及与部分运输企业结成联盟来整合运力。

在实地调研之后，我们对安吉物流公司完成运输任务时所用到的运力资源的构成又有了更精确的了解。运力资源大致可以分为两大部分，内部资源及外部资源。内部资源主要是指安吉所有的运输子公司，而外部资源是指安吉参股的配送公司和所在运输联盟内的一些运输公司以及寻牌式招聘的临时合作的承运商。前三者的运力资源都比较固定，即有运输任务的时候可以比较灵活方便的安排调用，所以也会优先考虑这部分的运力资源。

安吉物流公司每月都会对下月的运力资源需求情况做出预测，通过预测可能会存在当前可用运力资源不够，无法顺利完成下月运输任务的问题，为解决这个问题，我们提出了采用类似招投标竞争机制来选择承运商的想法，希望开发一个系统来获取及筹备备用运力资源，以备不时之需时使用。

但在调研中，我们获取到一个关键的信息，安吉公司曾开发过类似运力资源招投标这样的一个系统或平台，但却没能一直投入使用，同时我们也深入了解了其失败的原因，主要是两点：

- (1) **区域性：**其招承运商是面向全国各地区，但在安排运输任务时未充分考虑其区域任务的规划，可能出现了将距离较远的运输任务安排给承运商的不合理情况，以至于影响了运输效率甚至是运输任务完成情况。
- (2) **集团性：**由该平台招投标所获得的运力资源基本为非安吉品牌的、其他品牌的汽车公司，考虑到这类承运商的临时性，并且一次运输任务的失误就

会给该公司带来巨大的损失。

通过对安吉公司现状以及其历史情况的分析，我们提出了自己的运力资源招标投标系统的构想。

3.1.2 系统构想

招投标竞争机制是很好的一种既可以扩大需求方的选择空间又可以提高运输公司竞争的主动性和积极性以便更好的完成运输计划的方法。由于一般招投标方式的时效性，我们决定使用在线模式来进行。以此为背景，我们致力于设计一个便于安吉物流公司选择合适承运商的系统，使安吉物流公司与各个承运商可以进行实时招投标并在线交流协商，同时系统能通过综合评价方法为最终承运商的选择提供决策支持。

为了避免区域性问题，我们在招承运商的时候会注意其所能提供运力资源的范围，有针对性的去征召，以避免了之后任务分配不合理的情况。而对于集团性问题，我们会优先使用内部资源和长期合作资源，此处通过超投标获得的运力资源主要作为备用资源。

系统设计的目的：

- (1) 在安吉公司进行运力资源预测发现可能下月能使用的运力资源不够时，用于获取运力资源以备临时之需。
- (2) 在获取资源并使用的同时，也会有承运商服务质量的综合评价的反馈，系统会帮助用户筛选出更优更符合要求的承运商。
- (3) 运用招投标方式使各承运商之间形成竞争氛围，增强整个运输行业的竞争力。

3.2 系统整体架构

3.2.1 系统功能结构分析

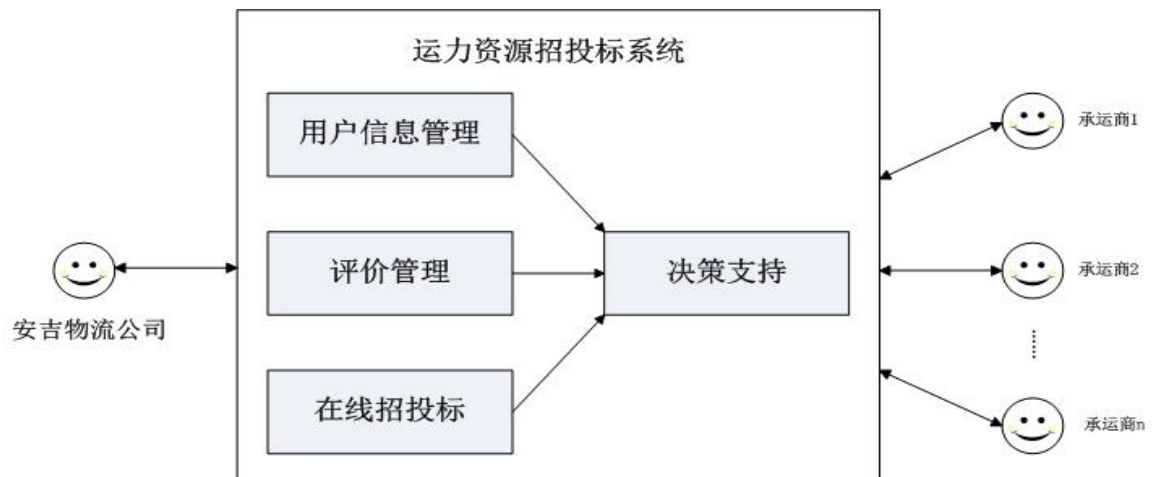


图 3-1 系统功能结构图

从图 3-1 中，可以看出系统最核心的功能主要体现在以下几个模块：

- **用户信息管理模块：**主要完成对系统使用者包括系统管理者和普通用户的个人信息进行管理
- **评价管理模块：**对系统用户的各项评价指标进行整合管理，为选择及决策过程提供支持。
- **在线招投标模块：**用户之间交流协商，达成双方统一，为最终的决策采集信息。
- **决策支持模块：**借助评价信息的整合、在线招投标过程的选择，建立层次分析模型，为最终决策提供支持。

3.2.2 系统整体流程设计

将整个模块流程划分为几个部分，可分为系统提供满足要求的承运商名单、在线招投标、系统为需求方提供选择承运商决策支持三个部分。

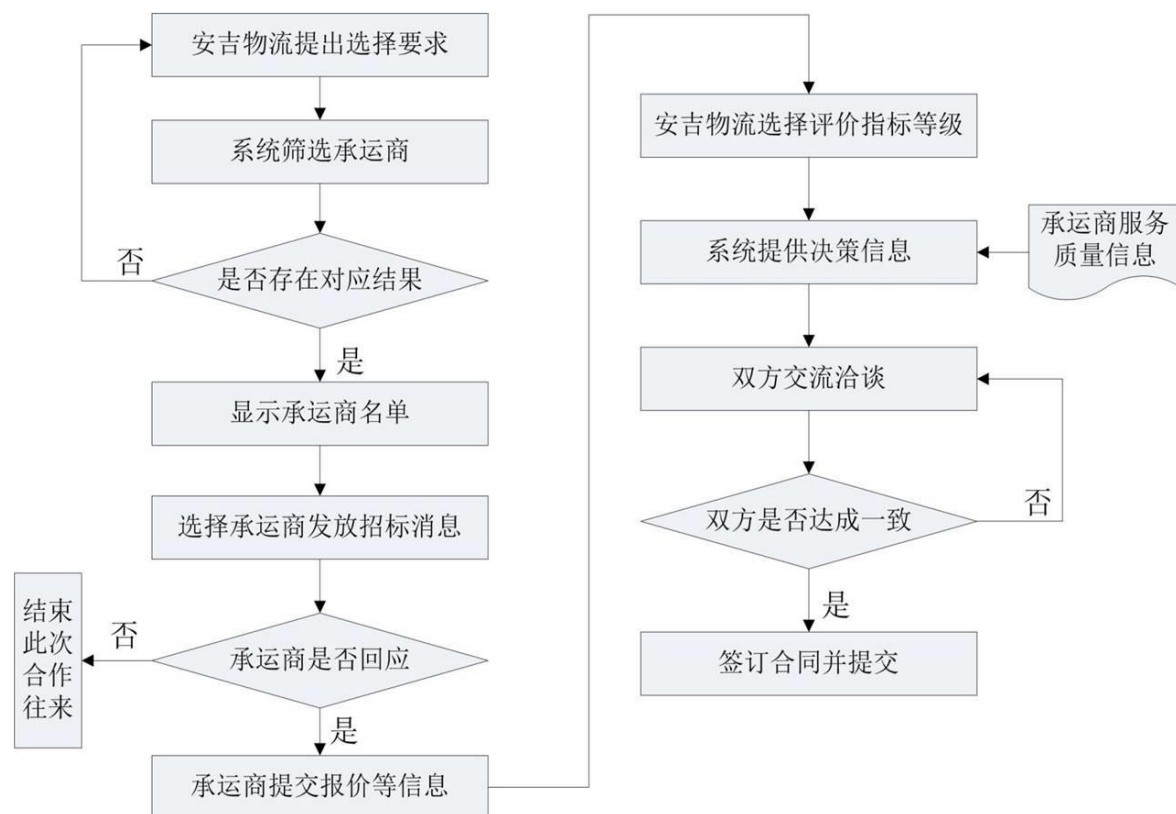


图 3-2 整体流程图

如图 3-2 所示，分析整体流程具体过程如下：

- (1) 需求方首先要明确提出运输任务的地区范围要求，而后再向系统提交对承运商的服务要求，如最大运力、现有运力、货物完好率、准时率等；
- (2) 系统根据要求进行搜索，并返回符合要求的承运商的结果；
- (3) 物流公司根据名单，选择自己感兴趣的承运商发送招标消息；
- (4) 有合作意愿的承运商在接到消息后给予回应，给出报价、运输服务等信息；
- (5) 需求方向系统提交方案评价选择指标给系统，作为系统提供决策支持的依据；
- (6) 系统根据需求方的要求、承运商的投标情况以及承运商的服务质量信息评价，综合处理，给出决策信息；
- (7) 需求方将系统提供的决策信息作为参考，与相应的承运商进行在线商议洽谈，最后双方达成一致；
- (8) 签订合作合同各自保存并提交一份由系统保管。

3.3 承运商选择

系统能为运力需求方提供选择支持的基础来自于两方面：

- (1) 信息支持。主要分为承运商企业信息与承运商服务质量评价信息，而承运商服务质量评价信息来源于被服务过的企业对其的评价，然后系统对这些评价统计综合最后得到对应的信息。
- (2) 算法支持。主要采用指数模型和层次分析法。指数模型用于对承运商服务质量评价综合；层次分析法用于提出决策信息，先让运力需求方对各种评价指标进行重要性选择，然后系统给出对应的决策信息。

综合上面两方面可知，决策支持主要分为三个步骤：承运商服务质量评价信息采集、承运商服务质量支持和决策支持。

3.3.1 承运商服务质量评价信息采集

系统根据运力需求方对运输服务的各方面要求，提出了提货及时率、到货准时率、回单及时完整率、运输完好率、异常情况反馈及时准确率、重大事故及投诉七项评价指标。

在每次承运商完成运输服务后，系统要求运力需求方提交一份对其服务质量的评价表，系统在一定周期内对承运商服务质量评价信息采集整理一次。因运输可能分为单次和多次，我们就分别对应地设计了单次运输承运商运输质量评价表和多次运输承运商运输质量评价表，如表 3-1 和表 3-2 所示。

表 3-1 单次运输承运商运输质量评价表

承运商单位名称		日期	年 月 日
物流公司名称			
指标	指标定义		评价结果
提货及时	承运商接到订单后，根据提货时间要求，及时安排提货车辆到达仓库提货。		<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
到货准时	在要求的交货时间内送达货物(从指定发运日开始计算时间)。		<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否

回单及时完整	合格的签收单据必须具备： 1、收货单位公章 2、收货人签名 3、收货日期 4、实收件数 5、要求的份数 6、及时返回	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
运输货物完好	按照企业的要求在规定的时间内将客户订购的产品无损坏的送达客户手上，无损坏包括外包装和产品。	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
重大事故	整车交通事故/丢失/货损而需返厂。	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
信息反馈及时准确	指运输过程中及时向企业反馈运输情况，特别是异常情况（在途坏车、车辆被扣、货物残损、货物丢失、窜货、客户拒收、回单丢失等）	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
投诉	在运输全过程中，因承运商服务质量或态度不符合规定等原因遭致客户投诉，经调查后确认属实。	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否

表 3-2 多次运输承运商运输质量评价表

承运单位名称			
物流公司名称			
日期	年 月 日	运输次数	次
指标	指标定义		评价结果
提货及时率	承运商接到订单后，根据提货时间要求，及时安排提货车辆到达仓库提货。		%
到货准时率	在要求的交货时间内送达货物（从指定发运日开始计算时间）。		%
回单及时完整率	合格的签收单据必须具备： 1、收货单位公章 2、收货人签名 3、收货日期 4、实收件数 5、要求的份数 6、及时返回		%
运输完好率	按照企业的要求在规定的时间内将客户订购的产品无损坏的送达客户手上，无损坏包括外包装和产品。		%
重大事故	整车交通事故/丢失/货损而需返厂。		次
信息反馈及时准确率	指运输过程中及时向企业反馈运输情况，特别是异常情况（在途坏车、车辆被扣、货物残损、货物丢失、窜货、客户拒收、回单丢失等）		%
投诉率	在装卸机运输全过程中，因承运商服务质量或态度不符合规定等原因遭致客户投诉，经调查后确认属实		%

3.3.2 承运商服务质量综合评价

系统在一定的周期对承运商服务质量评价进行统计，然后更新评价，为最终决策支持提供信息支持。

● 统计方法

首先根据各评价表计算出在该周期内该承运商总共运输的次数，然后再分别统计提货及时次数、到货准时次数、完整回单次数、重大事故次数等各个指标量，计算该周期承运商各服务质量指标值。

● 更新评价

在统计综合的基础上，根据质量指标的类型不同，将指标分成两类，然后分别采用不同的算法在整个时间段中进行评价更新，具体分类和算法如下所示：

(1) 第一类型质量指标

包括提货及时率、到货准时率、运输完好率、回单及时完整率、信息反馈及时准确率和客户投诉率。采用平滑指数法计算出整个时间段的各个质量指标，迭代公式：

$$\hat{y}_{t+1} = \partial y_t + (1 - \partial) \hat{y}_t \quad (3-1)$$

通过迭代公式可得：

$$\begin{aligned} N_{t+1} = & \partial N_t + \partial(1-\partial) N_{t-1} + \partial(1-\partial)^2 N_{t-2} \\ & + \dots + \partial(1-\partial)^{t-1} N_1 + \partial(1-\partial)^t \hat{N}_1 \end{aligned} \quad (3-2)$$

其中， \hat{N}_1 为初始值，所有质量指标初始值 100%， N_t 为第 T 统计周的统计值。

指数平滑法的计算中，关键是 ∂ 的取值大小，但 ∂ 的取值又容易受主观影响，因此合理确定的取值方法十分重要，一般来说，如果数据波动较大， ∂ 值应取大一些，可以增加近期数据对预测结果的影响。如果数据波动平稳， ∂ 值应取小一些。下面依据[8]给出选择 ∂ 值的一些规则：

- ✓ 当时间序列有波动，但长期趋势变化不大时，可选稍大的 ∂ 值，常在 0.1～0.4 之间取值；

- ✓ 当时间序列波动很大，长期趋势变化幅度较大，呈现明显且迅速的上升或下降趋势时，宜选择较大的 θ 值，如可在 0.6~0.8 间选值，以使预测模型灵敏度高些，能迅速跟上数据的变化；
- ✓ 当时间序列数据是上升（或下降）的发展趋势类型， θ 应取较大的值，在 0.6~1 之间。

（2） 第二类型质量指标

该类指标只要是重大事故发生次数这个指标。因为考虑到这个指标发生的次数并不多，但一旦发生会给运力需求方带来很到的损失，所以在这里采用累加法进行统计：

设在统计时间 T 内，出现重大事故的次数为 N_s ，以前重大事故发生总次数为 \hat{N}_m ，则在整个事件段内出现重大事故的总次数为：

$$N_m = N_s + \hat{N}_m \quad (3-3)$$

3.3.3 基于层次分析法的承运商选择

对承运商进行科学的选择和评价是十分重要的，因此有必要建立一套行之有效的评价体系——层析分析法 AHP。系统的思想在于不割断各个因素对结果的影响，而层次分析法中每一层的权重设置最后都会直接或间接影响到结果，而且在每个层次中的每个因素对结果的影响程度都是量化的，非常清晰、明确。这种方法尤其可用于对无结构特性的系统评价以及多目标、多准则、多时期等的系统评价。具体步骤如下所示：

（1） 建立评价指标体系

我们在为运力需求方提出决策支持时，意识到价格不再是选择和评价承运商的唯一因素，许多其他非价格因素，如企业规模、企业资产、承运商的服务水平等。经过讨论，最终从五个方面确定了承运商的评价指标，分别是企业报价、企业规模、企业资源、企业资质和质量评价。其中，企业规模包括人员素质构成、主要客户和主要服务企业，企业资源包括自由车辆、注册资产和可用流动资产，

服务质量包括运输完好率、提货及时率、送货准时率、回单及时率等。

将评价指标分类，根据评价指标构造准则层，模型主要包括目标层、准则层（第一级指标、第二级指标）、方案层。如图 3-3 所示：

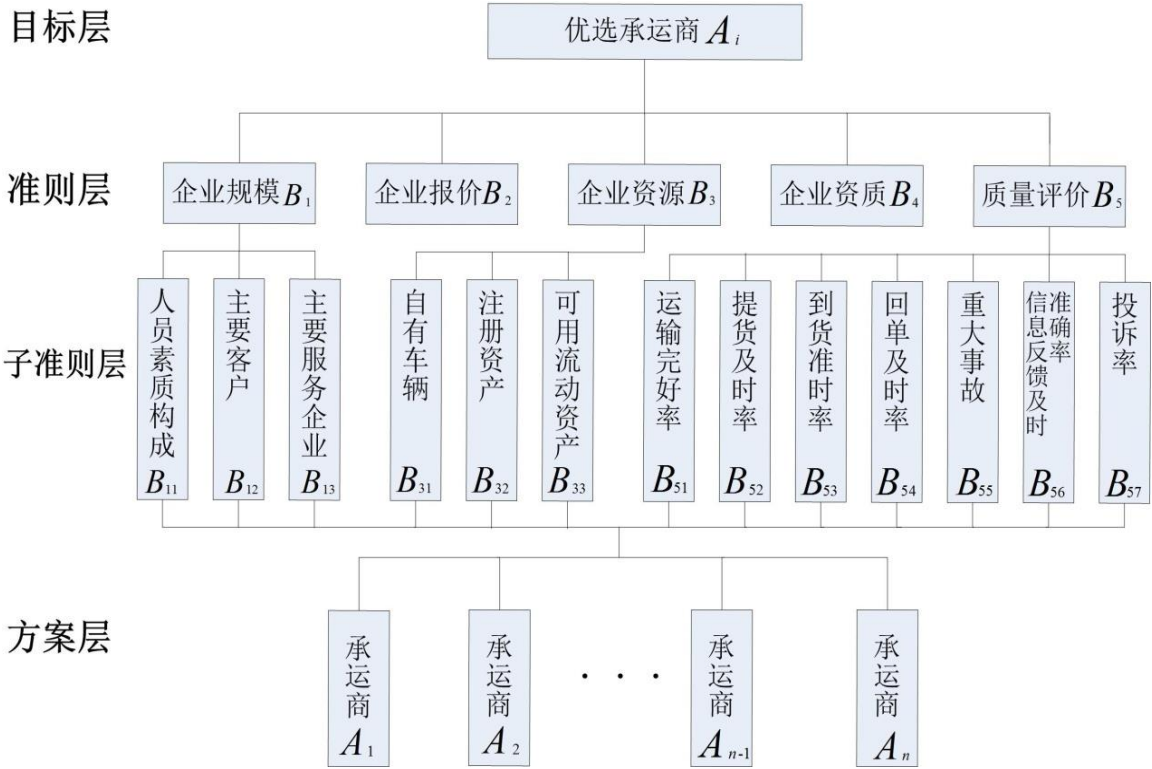


图 3-3 承运商评价体系模型

(2) 构造判断矩阵

根据评价体系模型以及需求方对各指标的重要程度的选择构造判断矩阵。在准则层的每一层次按照某一规定准则，对该层要素重要程度选择，进行逐一比较，写成矩阵形式，判断矩阵是针对上层次某元素，本层次与之有关的元素之间相对重要性的比较。判断矩阵标度定义如表 3-3：

表 3-3 判断矩阵标度定义

标度	含义
1	两个要素相比，具有同样重要性
3	两个要素相比，前者比后者稍微重要
5	两个要素相比，前者比后者明显重要
7	两个要素相比，前者比后者强烈重要
9	两个要素相比，前者比后者极端重要

2, 4, 6, 8	上述相邻判断的中间值
倒数	两个要素相比, 后者比前者的重要性标度

根据上表的标度定义, 两两比较各层元素后, 可以得到如表 3-4 所示的判断矩阵:

表 3-4 判断矩阵

A_k	B_1	B_2	...	B_n
B_1	b_{11}	b_{12}	...	b_{1n}
B_2	b_{21}	b_{22}	...	b_{2n}
...
B_n	b_{n1}	b_{n2}	...	b_{nn}

其中 A_k 是 B_1, B_2, \dots, B_n 的上层某元素。

(3) 量化指标

为了评价方便, 尽可能将指标量化。虽然有些指标很难绝对量化, 但可以进行承运商间的比较分级, 最后建立指标量准则表供参考, 部分结果如表 3-5 所示:

表 3-5 部分指标量准则表

二级指标	评分标准	分值
运输完好送达率	100%	10
	99%-100%	9
	98%-99%	8
	<98%	0
到货准时率	100%	10
	97%-100%	9
	95%-97%	8
	92%-95%	7
	90%-92%	6
	<90%	0
提货及时率	>99%	10
回单及时率	97%-99%	9
	95%-97%	8
	92%-95%	7
	90%-92%	6
	<90%	0
信息及时准确反馈率	100%	10
	99%-100%	9
	97%-99%	8
	95%-97%	7
	<95%	0
客户投诉率	无投诉	10
	$\leq 2\%$	9
	2%-4%	8
	4%-6%	7
	6%-8%	6
	>8%	0
重大事故次数	0	10
	1	8
	2	7
	≥ 3	0

(4) 计算结果。

最后根据层次分析法的计算步骤得出最后的结果。具体计算步骤为层次单排序、判断矩阵的一致性检验、层次总排序、总排序一致性检验和得出最优方案六大步骤。

3.4 实例分析

● 问题背景

近年来,随着生活水平的提高,很多家庭或者个人选择以车代步的生活方式,使得轿车的销售量逐年递增,安吉物流内部掌握的运力已无法再满足订单需求时,需要启动备用资源,通过运力资源招标平台招募承运商。

首先对承运商的运输范围提出要求,而后再提交对承运商各方面的要求,系

统为其筛选出三个承运商，分别是承运商甲、承运商乙和承运商丙，三家公司分别提交自己全国各地整车运输报价表。选择三家公司报价表中相同地区的报价，计算其平均值，分别为承运商甲 9500 元/车，承运商乙 10300 元/车，承运商丙 11000 元/车（其中车的类型是 13 米长，25 吨载重量）。

● 承运商信息统计

通过对承运商各方面的数据进行统计，结果如表 3-6 所示：

表 3-6 承运商信息统计表

		甲	乙	丙
企业规模 B_1	人员素质构成	2	3	5
	主要客户	3	4	4
	主要服务企业	2	5	5
企业报价 B_2		10	5	3
企业资产 B_3	自有车辆	3	5	10
	注册资产	5	5	5
	可用流动资产	3	3	5
企业资质 B_4		2	2	5
质量评价 B_5	运输完好率	8 (98.87%)	9 (99.03%)	10 (100%)
	提货及时率	9 (97.53%)	9 (98.05%)	10 (99.74%)
	到货准时率	10 (100%)	10 (100%)	9 (98.34%)
	回单及时率	10 (99.78%)	9 (97.86%)	9 (98.24%)
	重大事故	10 (0次)	8 (1次)	10 (0次)
	信息反馈准确率	9 (99.15%)	9 (99.52%)	10 (100%)
	投诉率	9 (1.48%)	10 (无投诉)	10 (无投诉)

● 指标权重确定

承运商评价体系模型的结构图 3-3 所示，而各准则之间的重要程度可由运力需求方自己进行选择确定，首先确定准则层各指标的权重，然后再确定子准则层各指标的权重。

（1） 准则层指标权重的确定

安吉物流公司在优选承运商时，最重视的是承运商提供的最低报价和其服务质量，其次为企业资质，再者为企业资产，对于企业规模安吉公司不将其看作特

别重要的评价指标。将所有准则层的评价指标的重要程度按要求转化为评价判断矩阵，如表 3-7 所示。判断矩阵的标度定义由表 3-4 所确定。

表 3-7 准则层指标判断矩阵

优选承运商 A	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5
B_1	1	1/8	1/4	1/5	1/7
B_2	8	1	3	2	1
B_3	4	1/3	1	1	1/3
B_4	5	1/2	1	1	1/3
B_5	7	1	3	3	1

(2) 子准则层指标权重的确定

以承运商的服务质量这一项子准则为例，根据不同的关注度，得到判断矩阵，如表 3-8 所示：

表 3-8 服务质量子准则层判断矩阵

服务质量 B_5	B_{51}	B_{52}	B_{53}	B_{54}	B_{55}	B_{56}	B_{57}
B_{51}	1	3	1	3	2	5	5
B_{52}	1/3	1	1/3	1	1/2	1/3	1/3
B_{53}	1	3	1	3	2	5	5
B_{54}	1/3	1	1/3	1	1/2	2	2
B_{55}	1/2	2	1/2	2	1	3	1
B_{56}	1/5	3	1/5	1/2	1/3	1	1
B_{57}	1/5	3	1/5	1/2	1	1	1

● 最终结果

- (1) 将统计数据处理为判断矩阵。以子准则运输完好率时根据甲、乙、丙三个承运商的实际情况所得的判断矩阵为例，如表 3-9 所示。
- (2) 使用和积法（或者方根法）进行层次单排序的到全部的层次单排序结果。包括五项准则对于目标的层次单排序，子准则对于对应准则的层次单排序 W_i ，以运输完好率为例，结果如表 3-9 所示。

表 3-9 运输完好率层次单排序

运输完好率 B_{51}	承运商甲	承运商乙	承运商丙	W_i
承运商甲	1	1/2	1/4	0.1429
承运商乙	2	1	1/2	0.2857
承运商丙	4	2	1	0.5714

(3) 对每个层次单排序进行一致性检验，需满足一致性才表明层次排序结果是满意的，否则需返回第一步对判断矩阵进行修改。以上层次单排序的一致性结果 $CR=0.00<0.1$ ，故满足一致性检验。

(4) 对之前所得的各项层次单排序 W_i ，将其分别乘以对应的准则层的权重，再求和得到优选承运商的层次总排序，如表 3-10 所示。

表 3-10 承运商层次总排序

备选方案	得分
承运商甲	0.3899
承运商乙	0.2646
承运商丙	0.3455

(5) 对承运商层次总排序的一致性进行检验。总排序的一致性结果为 $CR=0.0013<0$ ，满足一致性。

(6) 根据承运商层次总排名数据，得到优选承运商的层次分析法所得结果为甲>丙>乙。

因此系统向安吉物流公司提供的决策建议为选择承运商甲。整个计算详细数据见附件三。

● 结果分析

(1) 总体分析

从系统所给的层次分析法的结果可以看出，优选承运商的最终承运商权重得分不仅仅与承运商在各项准则层和子准则层的得分有关系，与各准则层对于总目标的权重得分也有很大的关系。

例如，在企业报价准则层上，承运商甲的权重为 0.6694，承运商丙的权重为 0.0879，甲>丙；在服务质量准则层上，承运商甲的权重为 0.3065，承运商丙的权重为 0.3941，丙>甲。虽然服务质量指标的权重为 0.3513 大于企业报价指标的权重 0.3327，但是最终结果是承运商甲的总权重为 0.3899，承运商丙的总权重为

0.3455，承运商甲优于承运商丙。这是因为对于总目标来说，服务质量和企业报价两者的权重相对来说比较接近，但在企业报价这个准则层上，承运商甲有着比承运商丙更大的优势。

(2) 灵敏度分析

以上总体分析是在准则层的基础上分析的，此外，还可以对各个子准则的权重进行灵敏度分析，以分析若子准则层相对于准则层的权重发生变化时，会对总目标的排名造成怎样的影响。

下面以准则层服务质量以及其子准则层的运输完好率为示例。

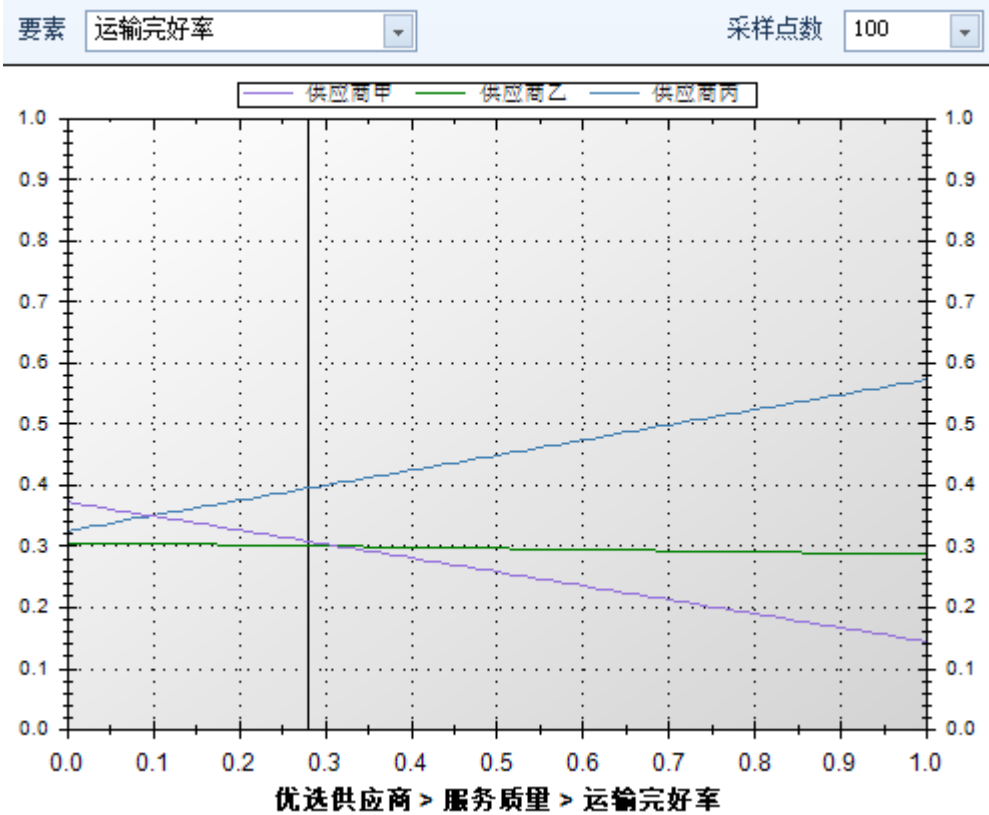


图 3-4 子准则层运输完好率灵敏度分析

准则层中服务质量各承运商权重得分分别为 0.3065、0.2994、0.3941，而在子准则层中运输完好率各承运商得分分别为 0.1429、0.2857、0.5714，体现在图 3-4 中（横坐标为 1.0 处）。而运输完好率这项指标在准则服务质量上的权重为 0.2820，在图 3-4 中也可看出（垂直黑线标出）。从图 3-4 可以发现若运输完好率相对于准则层服务质量的权重有所变化（即垂直黑线左右变化），三个承运商在准则层服务质量的得分也会有变化（即黑线与表示承运商得分的三条函数的交点）。特别是，若完好率的权重设置更高一些，假设达到 0.35，即三个承运商在

服务质量这项上的排序就由之前的丙>甲>乙变化为了甲>乙>丙。

3.5 系统特色

● 优选备用承运商资源

在分配运输任务时，会优先考虑常用的运力资源，但当能预测到运力资源缺乏时，能提前做准备去招募承运商，以便能顺利完成运输任务。

为了提供更可信任的承运商，系统能通过综合评价方法为最终承运商的选择提供决策支持。

● 考虑到运力资源的区域性

在发出招承运商的要求时，会明确提出其所能提供运力资源的范围，系统帮助筛选，这样有针对性的去招募，能有效的避免之后任务分配不合理的情况。

● 采用竞争机制

当安吉物流公司通过运力资源招投标系统选择承运商的时候，系统核心思想竞争优选机制会给带来多方面的好处，具体如下：

- (1) 优选机制，顾名思义就是优胜劣汰，根据承运商的报价以及承运商各方面的信息，通过系统优选机制的算法，为安吉物流公司提供决策，为其选择一个与其要求最满足的承运商。
- (2) 面对激烈的竞争，承运商想要在竞争中取胜，就必须注重提升自身的竞争力，不断地改进技术、改善经营管理，提高工作效率，这样就会激励承运商整体实力的提升，这也给安吉物流公司带来了很大的利益。

● 与传统招投标比较

运力资源招投标系统与传统招投标形式相比，虽然本质上都是招投标优胜劣汰的思想，但在行动力上有着多方面的优势，具体如下：

- (1) 具有明显的时效性。
- (2) 降低了招投标的成本。
- (3) 扩大了承运商的选择范围。

● 有效利用行业信息

安吉物流在选择承运商时，会考虑多方面的因素，包括：企业资质、企业规模，报价、运输完好率、提货及时率、送货准时率、回单完整率等。因为系统上

有众多承运商相关的详细信息，在一定程度上就反映来了整个运输行业的信息，安吉物流可以通过这个系统了解到有效的行业信息，与自己选择的承运商的各方面水平进行对比，将其作为参照和与承运商谈判的重要依据。

3.6 本章小结

运力资源招投标系统主要是为了安吉物流公司在预测到运力资源缺乏时，寻找好的备用运力资源，以顺利完成运输任务防患于未然。该系统借用了招投标的形式，采用优选制度，具有良好的时效性，使用层次分析法，综合承运商各方面的信息，对满足条件的承运商排序，为安吉物流公司挑选供应商时提供有力的决策，该决策具有一定准确性和科学性。

4 承运商运输任务分配

当今物流业的竞争是关于供应链的竞争、服务的竞争，安吉物流公司作为第三方物流企业，给客户提供的主要是服务性质的活动。因此，服务质量的好坏，不仅会影响企业以后业务量的多少，还会影响企业的品牌效益。在汽车运输行业，顾客直接面对的是作为运输方的承运商，承运商服务质量的好坏必然会成为影响顾客评价企业服务质量的 key 因素。因此从企业全局考虑，对承运商的选择和评估不但是必要的而且是必需的。

前面几章节已经对安吉物流配送的线路进行了优化，确定了具体的运输任务，这一章将从安吉物流的资源状况入手，采用案例推理和关联矩阵两种方法，动静结合，为安吉物流选取每条线路上负责运输的承运商并进行具体任务分配。

4.1 承运商运输任务分配现状分析

安吉物流的整车物流采用总集成总承包模式。安吉物流本身并不直接拥有轿车、滚装船等运输工具，而是通过控股或参股其他运输企业以及与部分运输企业结成联盟来整合运力。安吉物流对业务资源的分配，是采用按区域（线路）分配的模式进行的。具体来说，安吉物流事先将其全国的整车物流业务范围按照地区划分为若干区域，然后将某个区域（线路）的业务指派给一个或几个运输公司经营，并在此基础上形成运输公司的业务配比方案。但是该配比方案存在诸多弊端，弊端列举如下：

- （1） 由于线路的优劣程度不同，导致在单纯的业务配比模式下，承运商本身承担的业务负担程度不同，会造成不均等分配的情况；
- （2） 选择优质线路的承运商竞争激烈，而劣质线路则受到冷落；
- （3） 在业务配比机制下，承运商缺乏刺激因素竞争意识，以至于缺乏致力不断改善服务，降低成本的动力；
- （4） 整个物流体系中，缺乏对承运商的评估和绩效考核，不利于安吉物流有效管理承运商，不利于建立友好的长期合作关系。

业务配比模式已经越来越不适合安吉物流的快速发展形势，因此有必要取消这种分配模式。而取消业务配比模式后，当涉及到具体的资源计划编制工作时，我们必须确定以什么机制给各个承运商分配运输任务。在本章，我们将提出一套合理的承运商运输任务分配模型，对安吉物流的承运商运输业务配比进行优化重组，使得优化后的线路与承运商服务能更好地匹配，实现承运商计划中的优化。

4.2 承运商运输任务分配流程

在完成运量资源计划和运力资源计划的编制以后，我们必须考虑选择承运商进行商品车的实际运输工作，也就是制定承运商计划，承运商计划的内容即为承运商运输任务分配，也就是将优化后的某一条运输线路的运输任务具体安排给满足要求的特定的一个或多个承运商，做到任务与服务一一对应落实。在此我们采用了两种方法，分别是关联矩阵和案例推理（CBR），结合动静两方面分配运输任务。

在进行任务分配时，我们采用重要的任务（线路）优先安排分配，其中有关任务对应、具体承运商确定的部分，也是要匹配最适合的承运商。所以采用关联矩阵分别对任务和承运商评估排名，然后再一一配对，以达到最优效果。

此外，我们也考虑到每次运输任务分配的任务量很大，当采用关联矩阵对运输任务动态分配时，所需的时间和花费较多，所以当出现相似运输任务分配时，我们采用另一种方法——案例推理，帮助运输任务的静态分配。

案例推理是一种直觉思维方式，其基本依据是相似的问题有相似的解，对过去的经验和知识进行结构或存储，然后当出现相似情况时，就从知识库中检索出过去详细问题的解决方案，对其进行调整后得到新的解决方案。这样，对过去的求解结果进行重用，而不是再次从头推导，可以提高对新问题的求解效果。过去求解成功或者失败的经历可以指导当前求解时该怎样走向成功或者避开失败，这样可以改善求解的质量。

具体分配总流程如图 4-1 所示：

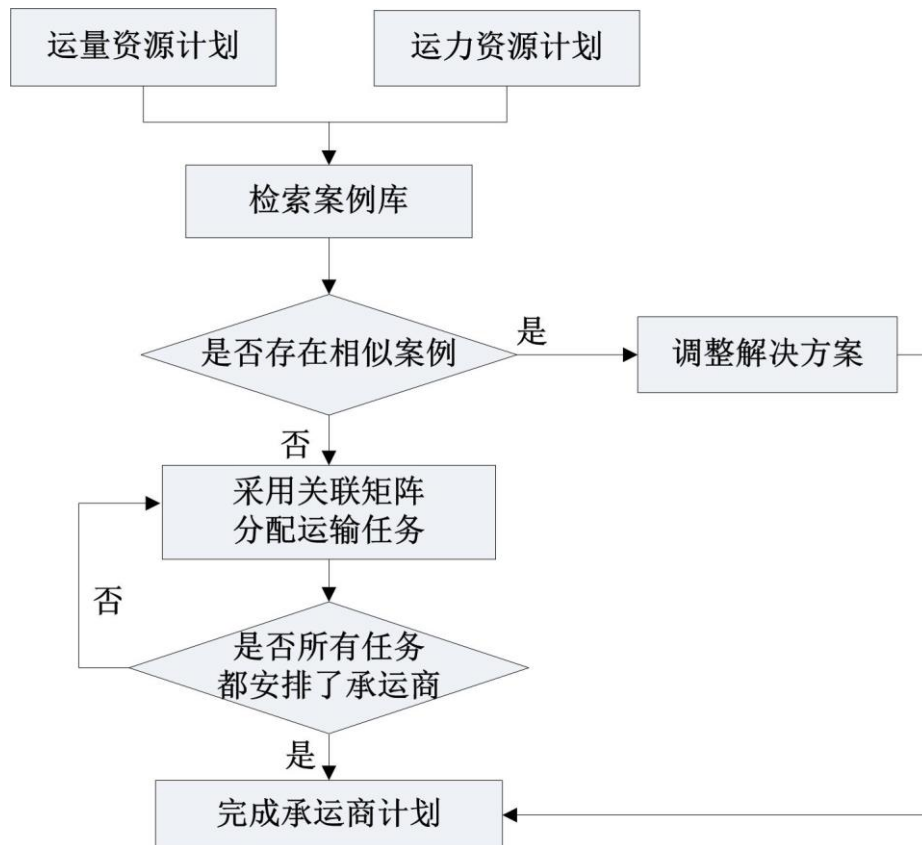


图 4-1 承运商运输任务分配总流程图

具体步骤如下所示：

- (1) 在完成运力和运量资源计划之后，从中提取重要信息，将当前案例与案例库中的案例进行相似度匹配。
- (2) 若检索出满足相似度要求的案例，则取出该案例，否则跳转到第（4）步。
- (3) 将检索出的案例与当前案例进行对比，对检索出的案例的解决方案进行修改，得到新的解决方案，即承运商计划。
- (4) 对所有运输任务（线路）通过某综合评价方法进行评级，然后根据等级高低从高到低依次对每项任务进行承运商的选择。
- (5) 先筛选出运输方式和运输区域满足某条带分配线路上运输任务的所有承运商，如果在这些承运商中含有运力大于运输任务所需运力的承运商，将这些承运商筛选出来并对这些承运商进行评级，选出评级最高的那个承运商完成该条线路上的运输任务。
- (6) 如果没有单一承运商能够满足所需的运力要求，则要选择多个承运商，这时就将所有运输方式满足的承运商进行评级，根据评级所得顺序依次选取承运商，直到这多个承运商总运力满足运输路线上的运力需求。

(7) 每当完成一条运输路线上运输任务的承运商分配之后，就将这个分配信息添加到承运商计划当中，直到所有路线均完成承运商运输任务分配之后，就完成了整体的承运商计划。

4.3 基于案例推理的承运商运输任务分配

当前，安吉物流运输任务分配主要是人工分配，依靠于人员的主管经验，但是这存在很大的不可靠性，同时也会较多的错误，所以我们要对此改进，建立一个可靠智能的决策支持系统，但是我们也不能完全舍弃这种人工经验，此时，案例推理就能将两者很好的结合。当出现相似的运输任务分配时，采用案例分析方法，可以达到一个理想的解决效果。

基于案例的推理 CBR 是一种重要的人工智能方法，就是对新案例在案例库中检索出旧案例，并进行修改，给新案例提供一种解的推理模式。一般地，基本的推理步骤通常可归纳为“4R”循环，即检索（Retrieve）、重用（Reuse）、修改（Revise）和存储（Retain）。

案例推理方法的主要步骤如图 4-2 所示：

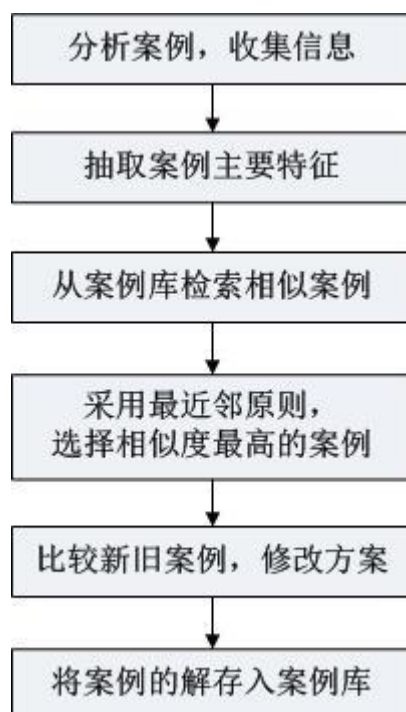


图 4-2 基于案例分析的运输任务分配

基于案例的推理，首先要为案例的每个属性指定一个权值，检索案例的时候

就根据输入的案例中各组成成分的权值与案例库中各属性的匹配程度，求得其权值的和，然后根据权值的和，案例中的各属性的匹配程度的远近来组织相应的案例进行检索。然后以相似度为依据，检索出符合条件并且相似度最高的案例。将此案例与当前案例进行比较，修改案例的解决方案，以得到新的解决方案完成承运商计划。

(1) 确定案例属性特征

案例检索的前提是要提取出案例的属性特征，通过属性特征来描述一个案例，将复杂的案例用一定规则表示，便于后面检索的进行。这里的属性是与运力资源计划和运量资源计划紧紧相关的。在这里，我们列举订单中车辆的型号、车辆的数量、所能利用的各种运输方式的资源（水路、公路和铁路）、到货期和目的地作为案例属性特征。安吉物流公司还可以根据实际情况对属性进行修改

(2) 案例属性归一化

因为考虑到各属性的量纲不同、属性值的数量级也不同，可能会导致计算出的相似度结果偏离工程实际的情况，所以我们在计算案例相似度之前，把案例的属性值按照某种函数归一化到某一无量纲区间，并且使所有相关属性归一化到同一数量级内，以便计算结果更能准确地反映案例之间的匹配程度。

假设 $P = \{P_1, P_2, \dots, P_m\}$ 是案例库中案例集，其中 P_i 是第 i 个案例， $Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_n\}$ 是案例的属性集，其中 Z_j 是第 j 个属性，构造属性矩阵如下：

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \cdots & X_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{m1} & X_{m2} & \cdots & X_{mn} \end{bmatrix} \quad (4-1)$$

其中， X_{ij} 表示第 i 个案例的第 j 个属性值。

$$\text{记第 } j \text{ 个属性 } \overline{Z_j}, \text{ 其中 } j=1, 2, \dots, n, \text{ 则有: } \overline{Z_j} = \frac{\sum_{i=1}^m X_{ij}}{m} \quad (4-2)$$

$$\text{记中间变量为 } M_{ij}: M_{ij} = \frac{X_{ij} - \overline{Z_j}}{\overline{Z_j}} \quad (4-3)$$

若当前案例，即目标案例为 $T = \{T_1, T_2, \dots, T_n\}$ ，其中 T_n 为目标案例 T 的第 n 个属性值。则可得到属性矩阵如下：

$$X' = \begin{bmatrix} X \\ T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \cdots & X_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{m1} & X_{m2} & \cdots & X_{mn} \\ T_1 & T_2 & \cdots & T_n \end{bmatrix} \quad (4-4)$$

采用效用函数（4-5）对原始矩阵（4-4）各属性数据进行归一化处理。

$$X'_{ij} = Y_{ij} = \frac{1 - e^{-M_{ij}}}{1 + e^{-M_{ij}}} \quad (4-5)$$

显然， $Y_{ij} = f(M_{ij})$ 是一条 S 型曲线，形状如图 4-3 所示：

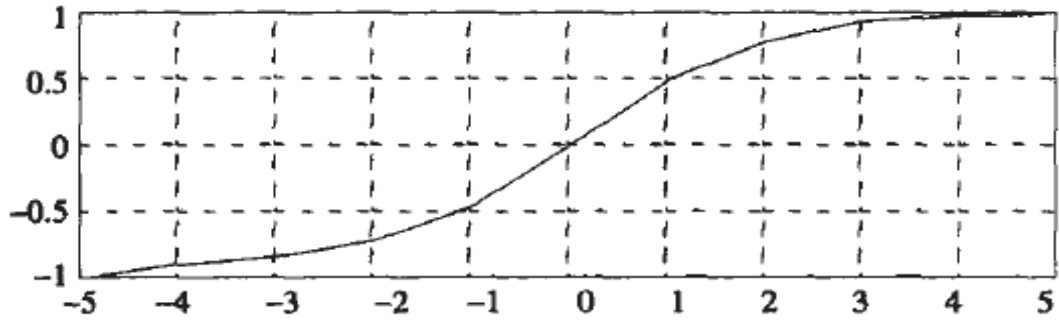


图 4-3 S 型转换曲线

利用该效用函数，可以看出，当原始属性值 X_{ij} 大于平均值 \bar{Z}_j 时，经过转换后其效用函数值大于 0。原始属性值越大，效用函数值越大；当原始属性值是 4 倍以上平均值时，效用函数值接近“饱和”，即 Y_{ij} 值接近 1。

反之，当原始属性值 X_{ij} 小于平均值 \bar{Z}_j 时，经过转换后其效用函数值小于 0。原始属性值越小，效用函数值越小；当原始属性值是 4 倍以上平均值时，效用函数值接近“饱和”，即 Y_{ij} 值接近 -1。

这样处理的好处是为了防止同一案例中某些属性的效用函数值过大，左右了案例间的匹配，而导致了检索结果偏离工程实际的情况。

（3）计算当前案例与案例集中案例的相似度

计算相似度时，我们在用常用的方法——最近邻法（NNP）。计算得到的相似度越高，则表示匹配程度越好。通用计算公式如（4-6）所示：

$$Similarity(T, X) = \sum_{i=1}^n f(T_i, X_i) \times w_i \quad (4-6)$$

其中， T 为当前案例（目标案例）， X 为案例库中的案例， n 为案例的属性

特征的个数， f 是案例 T 和案例 X 的对于第 i 属性特征的相似度， w 表示第 i 属性特征的权重， $w \in [1, n]$, $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ 。

最近邻法中计算 f 的方法有多种，在众多算法中，传统的、目前用得最多的相似度计算方法是欧式距离法，我们在此也采用欧氏距离算法求解相似度，计算公式如（4-7）所示：

$$D_{ii} = \left\{ \sum_{j=1}^n w_j (X_{ij}' - T_j')^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (4-7)$$

其中， D_{ii} 表示当前案例（目标案例）与案例库中第 i 个案例的欧氏距离， X_{ij}' 和 T_j' 分别表示由（4-5）归一化处理后的第 i 个案例和目标案例的第 j 个属性特征的值， $w_j (j=1, 2, \dots, n)$ 为属性权重，且 $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ 。

D_{ii} 的值越小，表示目标案例与案例库中第 i 个案例越相似。

（4）检索案例

由步骤（3）计算得到各案例间欧氏距离（相似度），取出欧氏距离最短的那个案例，即相似度最高的案例，为最佳源案例。比较当前案例与最佳源案例，若发现条件差异较大，则舍弃源案例，采用 4.4 节的关联矩阵方法进行求解。

（5）修改源案例，以适应当前案例

若比较当前案例与最佳源案例的条件差异不大，则对最佳源案例进行调整，以检查其对待解案例约束条件的满足程度。

这里的对案例的修改，主要依赖与人工积累的经验，因为安吉物流当前主要靠人力来确定运输任务的分配，所以对于案例的修改应该是有案例物流具有这方面专业经验的专业人员完成。

（6）案例的录入

CBR 的案例录入大致分成 3 种情况：

- 基于案例的推理系统是能够进行自主学习的智能系统，所以没在案例求解的过程中，通过变换调整得到的案例，可以将其加入到案例库中，以备将来可以使用。
- 根据用户的需求录入新案例。

- 专家通过对系统的情况分析，或者在案例求解时认为有必要或者必须通过录入某新案例才能完成求解过程时，由专家来进行新案例的录入。

考虑到安吉物流的现状，对于案例的录入，除了结合以上三点，当出现某些案例过于特殊，没有应用价值时，应该删除该案例。当修改后的案例比先前案例更具有代表意义时，应该录入新的案例，删除先前案例。

4.4 基于关联矩阵的承运商运输任务分配

当发现检索出的最佳源案例并不满足条件时，应该采用动态解决方法求解。由 4.2 中承运商任务分配步骤可知，在进行任务分配时，我们采用重要的任务（线路）优先安排分配，其中有关任务对应、具体承运商确定的部分，也是要匹配最适合的承运商。由此看出在完成任务分配的过程中，多次涉及到了排序、评级。因此，我们选择了一种常用的综合评价方法——关联矩阵法来辅助建立承运商运输任务分配模型。

4.4.1 关联矩阵法

关联矩阵法是一种常用的多目标综合评价方法，是用矩阵形式来表示各个替代方案、有关评价指标及其重要度、与方案关于具体指标的价值评定量之间的关系。

选择关联矩阵法是因为这种方法让人容易接受对复杂系统问题的评价思维过程数学化，并且通过将多目标问题分解为两指标的重要度对比，使评价过程简化、清晰。与同为多目标综合评价方法的层次分析法相比，关联矩阵法清晰简单、计算量和运算复杂度要小很多。在承运商运输任务分配过程中，会很多次用到评价排序，因此运用关联矩阵法是一个合适恰当的选择。

关联矩阵的基本思想是根据评价系统确定系统评价指标体系，将评价对象中每个评价因素的评价值按该因素在系统功能中所占重要程度给以权数，然后对评价系统的各个替代方案计算综合评价值，即求出各评价指标评定价值的加权和。结合本案例情况，基于关联矩阵的运输任务分配流程如图 4-4 所示：

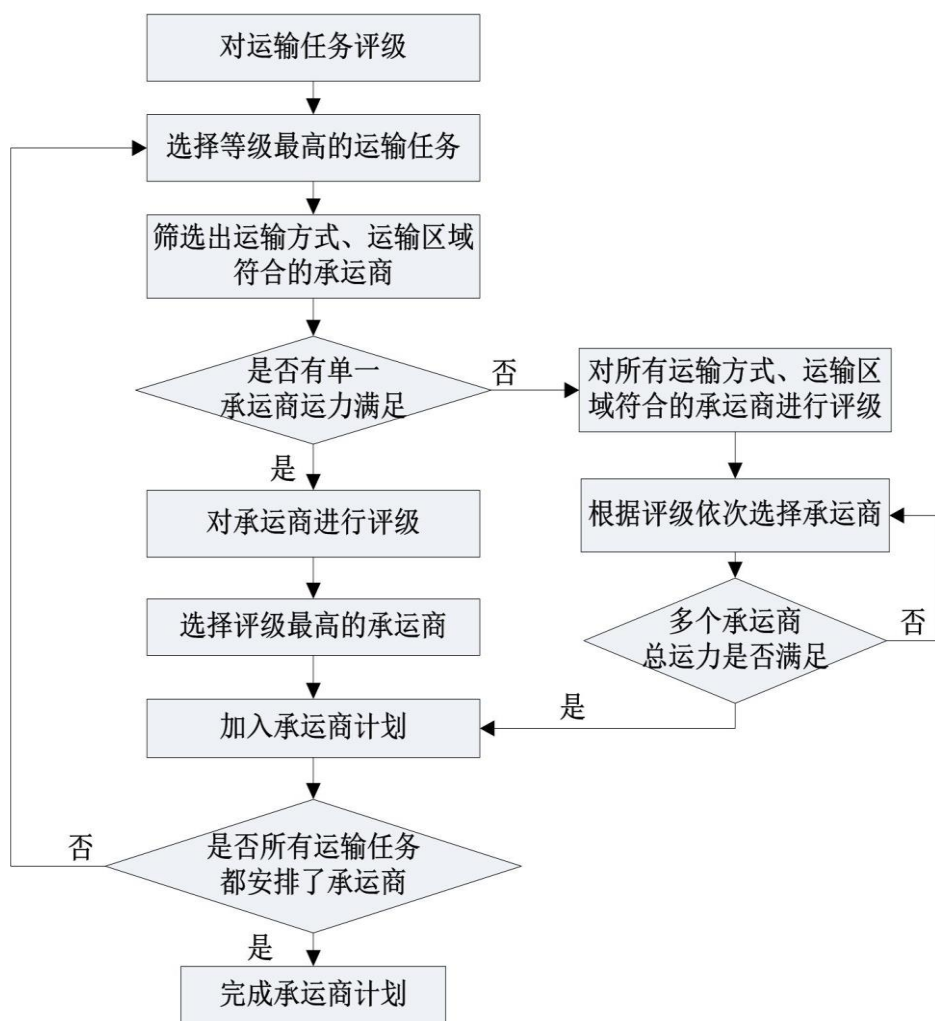


图 4-4 基于关联矩阵的运输任务分配流程

(1) 基本思想

关联矩阵的基本思想是根据具体评价系统，确定系统评价指标体系，将评价对象中的每个评价因素的评价值按该因素在系统功能中所占的重要程度给以权数，然后对评价系统的各个替代方案计算综合评价价值，即求出各评价指标评定价值的加权和。

假设： A_1, A_2, \dots, A_m 是评价对象的 m 个可行方案； X_1, X_2, \dots, X_n 是该评价对象的 n 个评价项目； X_1, X_2, \dots, X_n 是 n 个评价项目的权重； $V_{i1}, V_{i2}, \dots, V_{in}$ 是第 i 个可行方案 A_i 的关于 B_j 个评价项目的价值评定量 ($i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n$)。相应的关联矩阵如关联矩阵表 4-1 所示：

表 4-1 关联矩阵表

	B_1, B_2, \dots, B_n	V_i
	W_1, W_2, \dots, W_n	
A_1	$V_{11}, V_{12}, \dots, V_{1n}$	$V_1 = \sum_{j=1}^n W_j V_{1j}$
A_2	$V_{21}, V_{22}, \dots, V_{2n}$	$V_2 = \sum_{j=1}^n W_j V_{2j}$
\dots	\dots	\dots
A_m	$V_{m1}, V_{m2}, \dots, V_{mn}$	$V_m = \sum_{j=1}^n W_j V_{mj}$

应用关联矩阵的关键是：

- 确定各评价指标的相对重要程度，即权重 W_j ；
- 根据评价主体给定的评价指标的评价尺度，确定方案关于评价指标的价值评定量 V_{ij} 。

(2) 权重的确定

对于各评价指标（包括子指标）的重要程度即权重的确定，我们采用 A·古林法来求出，如表 4-2 权重确定表所示：

- 采用连环比率法，确定评价指标的重要度 R_j 。
- 以最后一个评价指标为基准，令其 K 值为 1(即 $K_n = 1$)，进行 R_j 的基准化处理，其中 $K_j = R_j \times K_{j+1}$ 。
- 归一化处理 K_j ，求取各评价项目的权重 W_j ，其中 $W_j = K_j / \sum_{j=1}^n K_j$ 。

表 4-2 权重确定表

序号	评价项目	R_j	K_j	W_j
1	B_1	R_1	K_1	W_1
2	B_2	R_2	K_2	W_2
\dots	\dots	\dots	\dots	\dots
n	B_n	R_n	K_n	W_n
合计			$\sum K_j$	1

对于有子指标的指标，同样需要用 A·古林法先求出各子指标对相应指标的权重，再分别乘以对应指标的权重，就可以转化为该子指标对于总目标的权重。

例如，天气影响程度与行驶畅通程度对于线路路况的权重为 C_1 、 C_2 ，而线

路路况对于总目标的权重为 W_2 ，则天气影响程度与行驶畅通程度这两项子项对于总目标的权重为 $W_{21} = C_1 \times W_2$ 、 $W_{22} = C_2 \times W_2$ 。

(3) 给定评价尺度

对于每个指标都需要有确定的评价尺度，以便于对最终目标的综合评判。

(4) 获得等级排序结果

- 根据评价指标绘制关联矩阵表。
- 根据方案实际情况、逐项对比表和评价尺度表填制关联矩阵表内容。
- 计算各方案的综合评价价值 V_j ,其中 $V_j = \sum_{j=1}^n w_j a_{ij}$ 。
- 将各方案的综合评价价值 V_j 得出结论。

4.4.2 运输任务评级

每条线路上的运输任务有轻重缓急重要程度之分，任务的等级表示了任务的重要性，重要性由多个指标共同确定，而指标又有可能细分为子指标，指标的层次结构如图 4-5 任务重要性指标图所示。

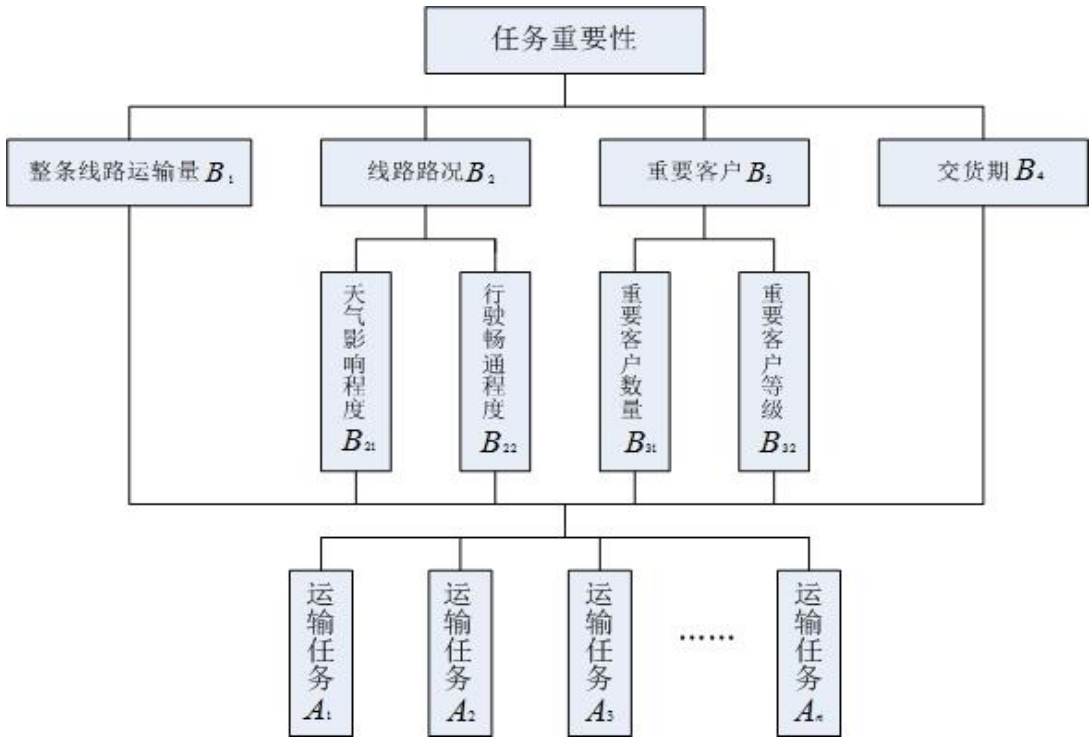


图 4-5 任务重要性指标图

按照上节所提到的关联矩阵法对任务进行排序，具体过程这里不再详述。其中要用到的便于对各条任务重要性进行综合评判的每个指标的评价尺度，应由安吉物流公司根据自己的实际情况亲自制定，此处我们给出表 4-3 参考评价尺度表，

作为参考，也以便在后面的实例进行评价。

表 4-3 参考评价尺度表

	评价尺度				
评价项目	5	4	3	2	1
整条线路运输量 B_1	运输量最大	\geq 最大运输量的90%	\geq 最大运输量的70%	\geq 最大运输量的50%	$<$ 最大运输量的50%
天气影响程度 B_{21}	很大	较大	中等	轻微	无影响
行驶畅通程度 B_{22}	非常不畅通	较不畅通	一般	较畅通	非常畅通
重要客户数量 B_{31}	>20	≤ 20 且 >15	≤ 15 且 >10	≤ 10 且 >5	≤ 5
重要客户等级 B_{32} (平均值)	10—9	8—7	6—5	4—3	2—1
交货期 B_4	最早	除最早交货期的前35%	交货期在中间的30%	除最晚交货期的后35%	最晚

4.4.3 承运商任务分配

在进行了运输方式、运输区域两方面匹配后,对剩余的合格承运商进行排序。
在对承运商排序时,要根据其实际情况和当前需安排的线路的要求从多个方面进行考虑。其考虑指标可总结为如图 4-6 的承运商选择指标图。

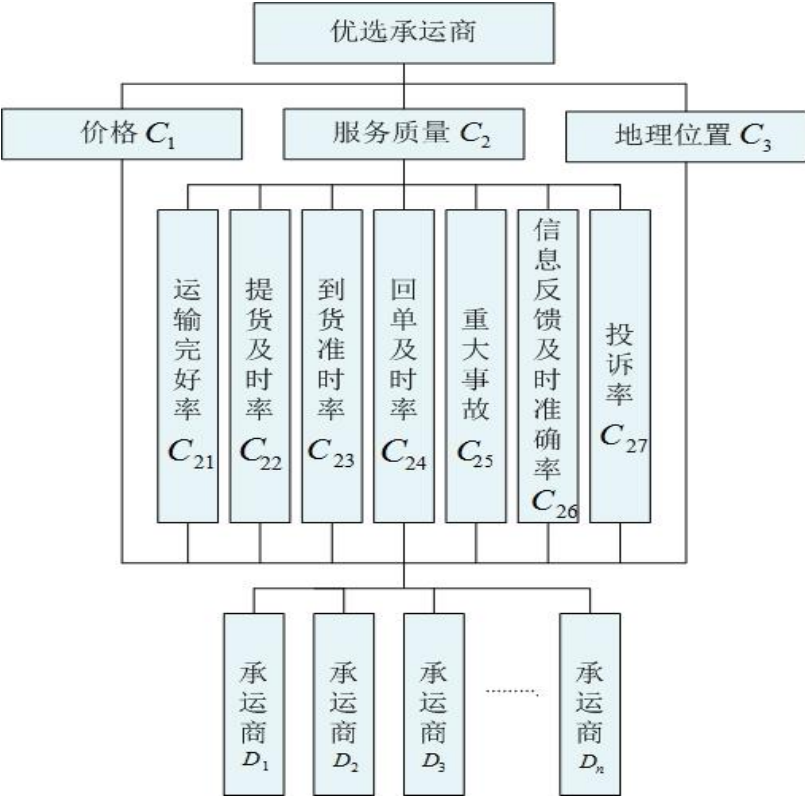


图 4-6 承运商选择指标图

按照上节所提到的关联矩阵法对承运商进行排序，具体过程不详述。其中要用到的对各承运商进行综合评判的每个指标的评价尺度，应由安吉物流公司根据自己的实际情况亲自制定，此处我们给出表 4-4 参考评价尺度表，作为参考，也以便在后面的实例进行评价。

表 4-4 参考评价尺度表

	评价尺度				
评价项目	5	4	3	2	1
价格 C_1	最低价格	≤最低价格的 1.1 倍	≤最低价格的 1.2 倍	≤最低价格的 1.3 倍	>最低价格的 1.4 倍
运输完好率 C_{21}	100%	99%-100%	98%-99%	98%-96%	<96%
提货及时率 C_{22}	>99%	97%-99%	95%-97%	92%-95%	<92%
到货准时率 C_{23}	100%	97%-100%	95%-97%	92%-95%	<92%
回单及时率 C_{24}	>99%	97%-99%	95%-97%	92%-95%	<92%
重大事故 C_{25}	0 次	—	1 次	—	≤2 次
信息反馈及时准确率 C_{26}	100%	99%-100%	97%-99%	95%-97%	<95%
投诉率 C_{27}	无投诉	≤2%	2%-4%	4%-8%	<8%
地理位置 C_3	离发货点距离最近	≤最近距离的 1.5 倍	≤最近距离的 2 倍	≤最近距离的 2.5 倍	>最近距离的 3 倍

4.5 实例分析

现有 5 条不同线路上的不同运输任务 A_1, A_2, A_3, A_4, A_5 要进行分配，每条线路上的运输量如表 4-5 所示。同时，当前有可提供运输服务的 7 个承运商 D_1, D_2, \dots, D_7 ，这些供应商目前可提供的运输能力如表 4-6 所示。现需为这些任务找到合适的承运商。假设未能从案例库中检索出相似案例，采用关联矩阵方案求解，具体过程如下：

表 4-5 线路运输量

线路	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
运输量(辆)	750	960	1000	700	200

表 4-6 承运商能力

承运商	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	D_7
可用车辆(辆)	1200	500	200	300	1200	200	800

(1) 运输任务评级

采用关联矩阵法进行运输任务评级。首先，使用 A·古林法确定各指标的权重，包括子指标对于指标的权重值。如表 4-7，获得了各指标对于目标任务重要性的权重值。

表 4-7 运输任务指标权重

序号	评价项目	R_j	K_j	W_j
1	B_1	3	0.75	0.3
2	B_2	0.5	0.25	0.1
3	B_3	0.5	0.5	0.2
4	B_4		1	0.4
合计			2.5	1

子指标对于指标的权重确定过程在此省略，需要注意的是其中子指标权重的获得，例如 $W_{21} = C_1 \times W_2$ 。最终得到各具体指标的权重，在表 4-8 中显示。

在确定了各具体指标的权重后，我们根据表 4-3 的参考评价尺度，对现有的 5 条不同线路上的运输任务进行打分并填制任务重要性的关联矩阵表表 4-8。

表 4-8 运输任务等级表

	B_1	B_{21}	B_{22}	B_{31}	B_{32}	B_4	V_i
	0.3	0.05	0.05	0.134	0.066	0.4	
A_1	3	4	3	1	5	5	3.714
A_2	4	3	2	2	2	3	3.05
A_3	5	3	4	3	2	3	3.584
A_4	3	2	2	1	3	1	1.832
A_5	1	2	1	2	4	2	1.782

由关联矩阵表内计算所得的综合评价价值 V_j 可知， A_1 线路所对应的运输任务在这 5 条线路中具有最高的重要性，随后的任务重要性排序结果为： A_3, A_2, A_4, A_5 ，我们将以这样的顺序对各个任务进行分配。

(2) 承运商任务分配

依据前面所得的任务重要性排序结果，我们首先选取具有最高重要性的 A_1 线路上的任务进行承运商任务分配。在进行了运输方式与单一运力这两个条件的

匹配之后，发现目前有 4 个承运商 D_1, D_2, D_5, D_7 满足运送该线路上任务的要求，能够提供合适的服务。于是，接下来我们对这 4 个承运商采用关联矩阵法进行综合排序。

首先，同样是采用 A·古林法确定各具体指标的权重，具体初始数据及过程不在此详述，最终计算所得的权重值在表 4-9 中可体现。

表 4-9 承运商等级表

	C_1	C_{21}	C_{22}	C_{23}	C_{24}	C_{25}	C_{26}	C_{27}	C_3	V_i
	0.4	0.113	0.023	0.113	0.038	0.055	0.027	0.032	0.2	
D_1	5	2	3	4	4	3	5	3	5	4.292
D_2	4	3	4	5	4	5	3	4	4	4.0281
D_5	4	3	5	5	4	5	4	4	4	4.0779
D_7	3	4	5	4	5	5	4	4	3	4.5419

由关联矩阵表内计算所得的综合评价价值 V_j 可知， D_7 承运商所提供的服务是最优或者说最适合当前线路上的任务的。即 A_1 线路上的任务分配给 D_7 承运商来完成。当一条线路上的任务分配好后，对应的承运商的运输能力要进行修改即可用资源要减去已经分配出去的车辆。此时，除去为线路 A_1 提供的服务用去运力 750 辆， D_7 的可用运力资源还剩 50 辆。

为 A_1 线路上的任务安排好承运商后，再按照任务重要性，对其余的线路也使用相同的方法进行承运商排序匹配，当某一承运商的单一运力无法完成一个任务时，可由多个承运商合作完成一个任务。直至所有线路上的所有任务都有承运商对应，承运商计划即安排完成。5 条线路上的任务的安排情况如表 4-10 所示。

表 4-10 任务分配结果表

		承运商							运输量合计
		D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	D_7	
线路	A_1	-	-	-	-	-	-	750	750
	A_2	-	-	-	-	960	-	-	960
	A_3	1000	-	-	-	-	-	-	1000
	A_4	-	400	-	-	200	100	-	700
	A_5	-	-	-	200	-	-	-	200
资源合计		1000	400	-	200	1160	100	750	3610

由表 4-10 可以看出存在一个承运商能单一完成一条线路上的运输任务的情况，如线路 A_1, A_2, A_4, A_5 分别由承运商 D_7, D_5, D_1, D_4 单独承担运输服务。同时，在进行分配的时候也会经常存在多个承运商共同完成一条线路上的运输任务的情况，如线路 A_3 ，它的运输任务所需的服务是由 D_2, D_5, D_6 三个承运商共同满足的，因为对其进行承运商匹配的时候没有找到单一的承运商能满足其全部运输任务，因此只是进行了运输方式的匹配后就对合适的承运商进行评级，根据评级结果依次选择承运商，直至所选承运商可用运力之和等于任务需求。

4.6 本章小结

本章主要介绍了如何在基于已经给定的承运商资源的基础上，将每个承运商分配某一条或者某几条具体线路的运输任务，以完成资源调度系统中的承运商计划。我们使用到的方法主要是结合了案例推理和关联矩阵的选择分配方式两种方法。

5 整车物流资源优化调度系统

5.1 系统目标

为了完成对安吉物流公司所有订单资源和运力资源的管理，并对订单所产生的物流任务进行更好的分配和计划，同时对订单在整个物流过程中进行监控管理，从而完成对运力资源进行安排调度的工作，我们设计了整车物流资源优化调度系统。

整车物流资源优化调度系统的基础是对所接受的订单和所拥有的运力资源进行一个整体的管理。当一个订单录入之后，能够对订单进行一些基本的修改查询操作。整车物流资源优化调度系统也通过数据库将公司所有的运力资源进行了存储，通过对所有运力资源的一个整体把握，可以更好地做到对运输任务合理有效的分配。

整车物流资源优化调度系统的核心是整车资源计划的编制，综合考虑运输时间、运输成本和碳排放成本，在三者之间找到一个动态平衡点，从而选择出合理的运输方式和运输路线。

此外，整车物流资源优化调度系统还通过监控调度系统对订单进行跟踪和对运输工具进行监控，以防出现车辆被劫等意外情况。此外，当发现某段运输路线上由于自然或者人为的原因导致交通受到影响，可以直接发出调度指令，临时更改运输路线。这样可以尽量保证订单完成的安全和及时。

5.2 系统功能分析与设计

5.2.1 系统功能需求分析

对系统目标细化分析，可以等到系统的具体功能需求如下：

- (1) 在个人信息管理方面，要实现对系统使用人员信息的修改和密码的修改。
- (2) 在订单管理方面，要实现对订单的录入、删除、修改和查询等功能。
- (3) 在运力资源管理方面，要实现对运力资源管理细化到每个承运商、每辆轿运车，同时通过监控调度系统完成对轿运车的实时调度。

- (4) 实现编制资源计划方案，同时在当客户订单、运力资源、环境因素等发生变化时，为资源计划的快速修正提供决策支持，最后能对已生成的计划方案进行评估。
- (5) 支持按商品车品牌、运输策略、发运地、目的地、承运商等各种维度进行的统计分析。

5.2.2 系统功能结构设计

通过对系统功能的需求分析，将系统功能分成六个主要的模块，分别是个人信息管理模块、订单管理模块、运力资源管理模块、计划编制模块和监控调度模块和数据统计模块，系统的总体功能结构如图 5-1 所示。

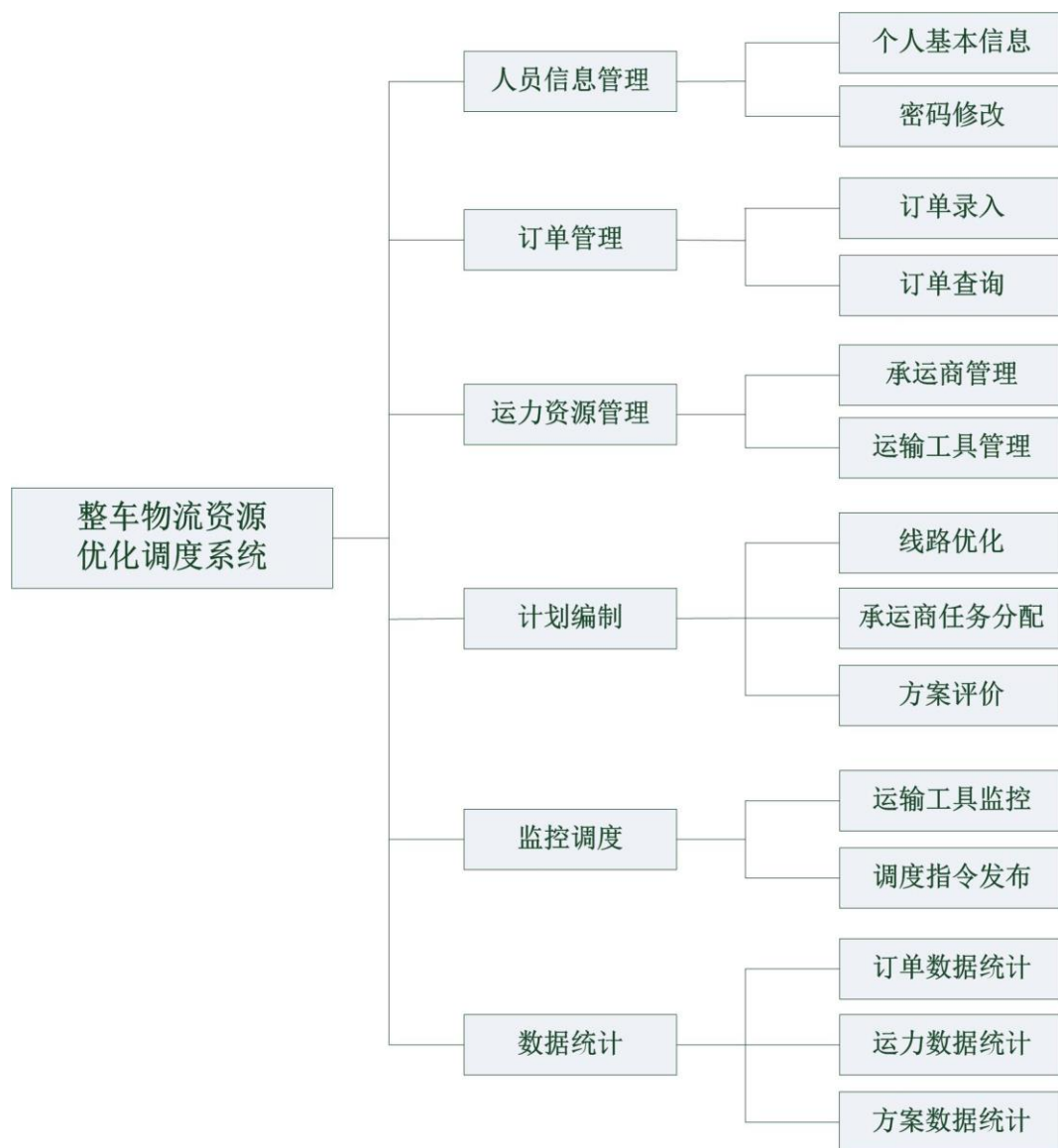


图 5-1 整车物流资源优化调度系统功能结构图

(1) 个人信息管理模块

个人信息管理主要是对系统使用人员的信息进行管理，包括个人信息修改，以及登陆用户名和登陆密码的修改。

(2) 订单管理模块

安吉物流的订单一般都是由总公司接收，订单管理模块就是对所有接收的订单任务进行管理的平台。

订单管理模块包括订单录入功能和订单查询功能。

- 订单录入功能就是完成对订单的录入过程，并且可以在订单录入之后对订单进行修改、删除等操作。
- 订单查询功能是根据订单编号、订单起止时间等信息的查询条件，对订单记录进行查询。

(3) 运力资源管理模块

安吉物流的运力资源一般由总公司下属的各个承运商直接管理，但通过整车物流资源优化管理系统的运力资源管理模块，希望可以对所有运力资源进行整体地管理，是运力资源的安排更加合理高效。运力资源管理模块包括承运商管理功能和运输工具管理功能。

- 承运商管理功能是以承运商为单位，对各个承运商的运力资源进行管理，了解各个承运商拥有的运力资源和运力资源的使用情况。
- 运输工具管理功能是以运输工具为单位，对公司拥有的所有运输工具进行管理，如增加、删除某个运输工具或是更改某个运输工具的状态。

(4) 计划编制模块

作为整车物流资源优化调度系统的核心，计划编制模块根据经过分批之后的订单任务和公司现有可用的运力资源通过蚁群优化算法来完成运输线路的优化工作。通过合理的启发式算法，实现承运商运输任务的合理分配，以求更加高效地完成订单任务。

计划编制模块包括线路优化功能、承运商任务分配功能和方案评价功能。

- 线路优化功能通过综合考虑运输时间、运输成本和碳排放量，在三者之间找到一个动态平衡点，从而选择出合理的运输方式和运输路线。并将优化得到的运输方式和运输路线通过图像和表格两种方式展现出来。
- 承运商运输任务分配功能根据线路优化得到的线路运输任务，结合现能调度使用的承运商资源，采用案例推理和关联矩阵的两种算法，将运输任务分配给承运商。
- 方案评价功能依据已定的规则对在不同优化目标下所生成的方案进行评价。

(5) 监控调度模块

通过整车物流资源优化调度系统的监控调度模块，可以链接到安吉物流公司已有的监控调度系统里，来完成对订单的跟踪、对运输工具的监控，并可以输入调度指令，完成在意外状况下对运输工具的临时调度。

(6) 数据统计模块

数据统计模块主要是对安吉物流各种数据资源进行统计，主要包括订单数据统计、运力数据统计和方案数据统计三个方面。

- 订单数据统计功能主要对订单中订单时间（月度、季度、年度）、厂商和商品车类型等方面进行统计。
- 运力数据统计功能主要对可用及非可用运力资源、承运商、运输方式和运输能力几个方面进行统计。
- 方案数据统计功能主要针对某个订单中各运输方式所占比例进行统计。

5.3 资源计划方案编制的流程设计

系统为了高效地完成资源计划方案的编制工作，需要对资源计划方案编制的流程进行设计。在接受订单之后，根据一定规则对订单进行处理，根据订单信息得到各地需求，通过后台启发式算法的计算，得出各个订单的运输路线和运输方式，从而得到运量计划。之后，综合考虑各个承运商的能力，结合案例推理和关联矩阵两种方法选择最合适的承运商，完成承运商计划，得到最终的资源计划方案。资源编制的基本过程如下所示：

- (1) 安吉物流公司在接收订单的同时，录入该订单的详细信息，包括起始地、发运地、订单截止日期、运量等信息。录入以后就对可以该订单进行处理。
- (2) 当系统接收到录入的订单之后，通过后台启发式算法对各个订单的需求量进行优化计算，以完成这个订单运输路线的优化，并确定这批订单在运输过程中各段路线的运输方式，从而生成所谓的运量计划。
- (3) 根据得到的运量计划和现可用的承运商资源，进行运输任务分配。先将待解决的任务分配案例与案例库中的案例进行相似度匹配，若能检索出满足相似度要求的源案例，则采用案例推理的方案，比较待解决案例与源案例，修改源案例的解决方案，以得到适应新案例情况的解决方案，即承运商计划。如不能检索出满足条件的源案例，则采用关联矩阵的模型，分别对运输任务和承运商评价分级，然后根据重要订单由等级较高的承运商负责的准则，对承运商进行运输任务分配，得到承运商计划，最终完成了资源计划方案的编制。

5.4 系统实现

下面通过一系列的系统的界面展示，更加直观地了解到系统的实现情况。

如图 5-2 所示，为系统的登录界面，需要经过用户名、密码以及验证码的匹配进入系统。



The image shows a Windows-style login window titled "欢迎使用整车物流资源优化调度系统" (Welcome to use the whole vehicle logistics resource optimization and scheduling system). The window contains three input fields: "用户名:" (Username) with the value "安吉" (Anji), "密 码:" (Password) with the value "*****", and "验证码:" (Verification Code) with the value "3161". To the right of the verification code input field, the code "3161" is displayed. At the bottom of the window, there are two buttons: "确定" (OK) and "重置" (Reset).

图 5-2 系统登录

通过登录进入系统后，就可以看到如图 5-3 所示的系统主界面。在主界面的左下方可以看到登录人员的用户名以及当前时间。

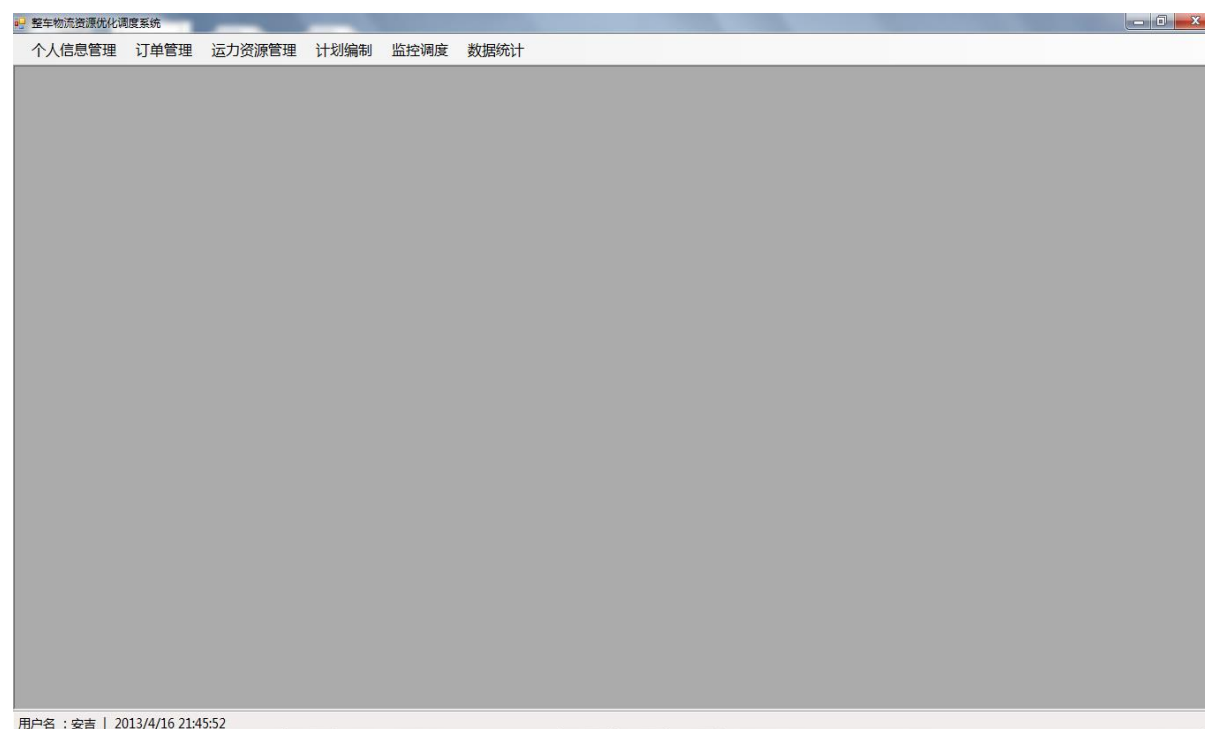


图 5-3 系统主界面

对安吉物流公司所接收的订单进行管理，主要完成对订单的录入、删除、修改查询等基本操作。如图 5-4 所示，是进行订单录入的操作，先选择订单生成时间及订单截止时间，然后填入厂商名称，最后确定订单紧急程度之后，就可以添加新的订单，如图 5-5 所示的订单编号为 2013013 的这条记录。然后在填写订单中子订单的详细信息（起始地、目的地、运量和商品车型号），点击确定之后就完成了整个订单的录入。此外，点击订单编号，如 2013002，然后点击查询订单任务，就可以看到每个已录入订单的详细运输任务信息，如图 5-6 所示。

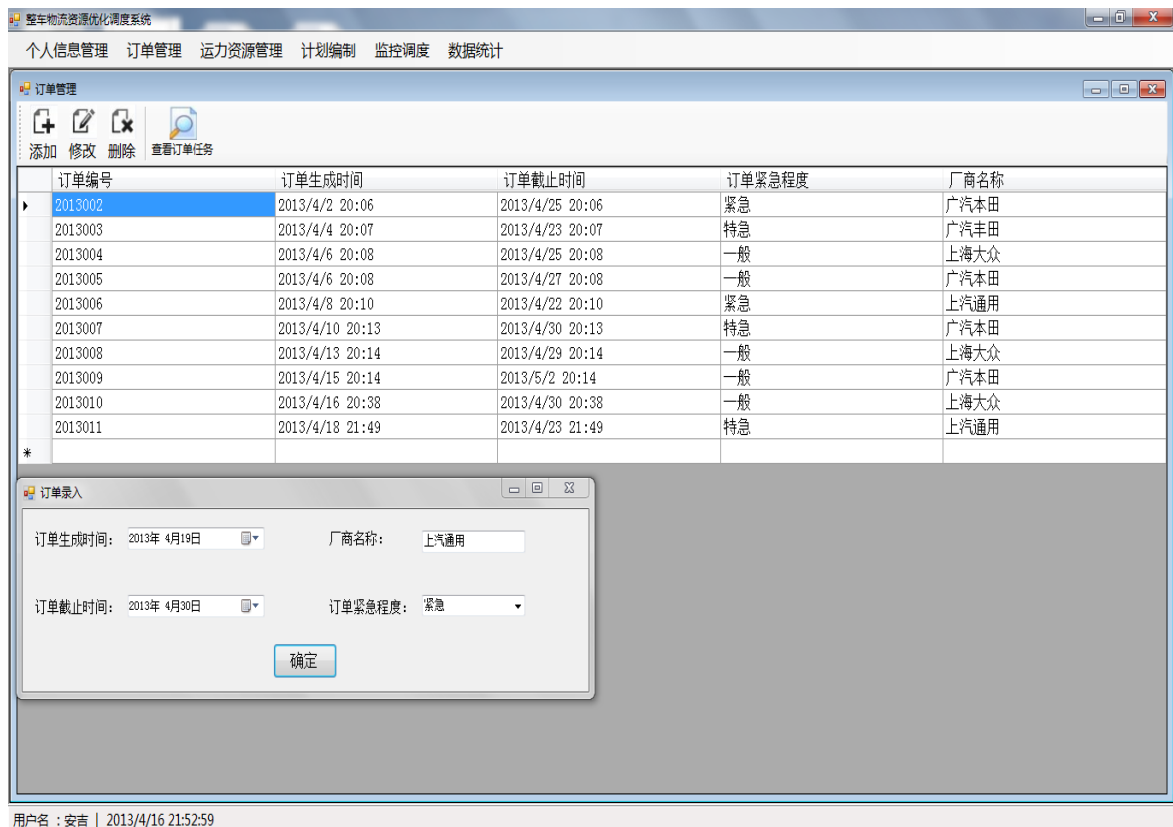


图 5-4 订单录入

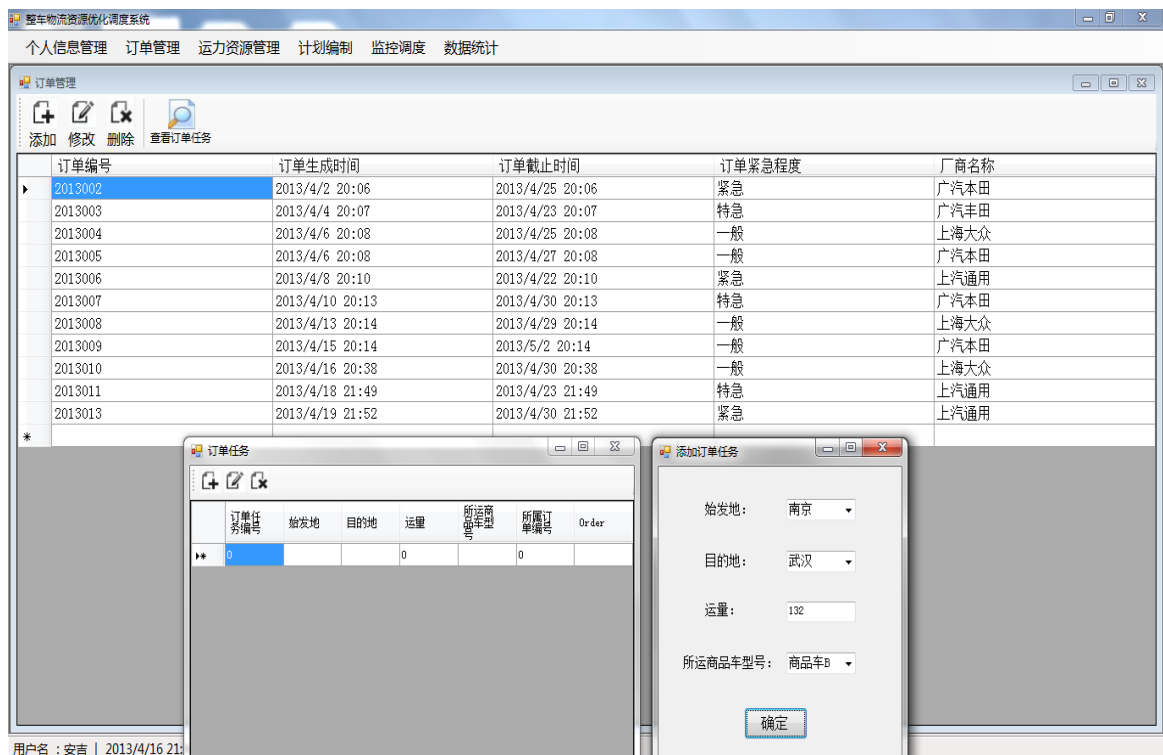


图 5-5 订单任务添加

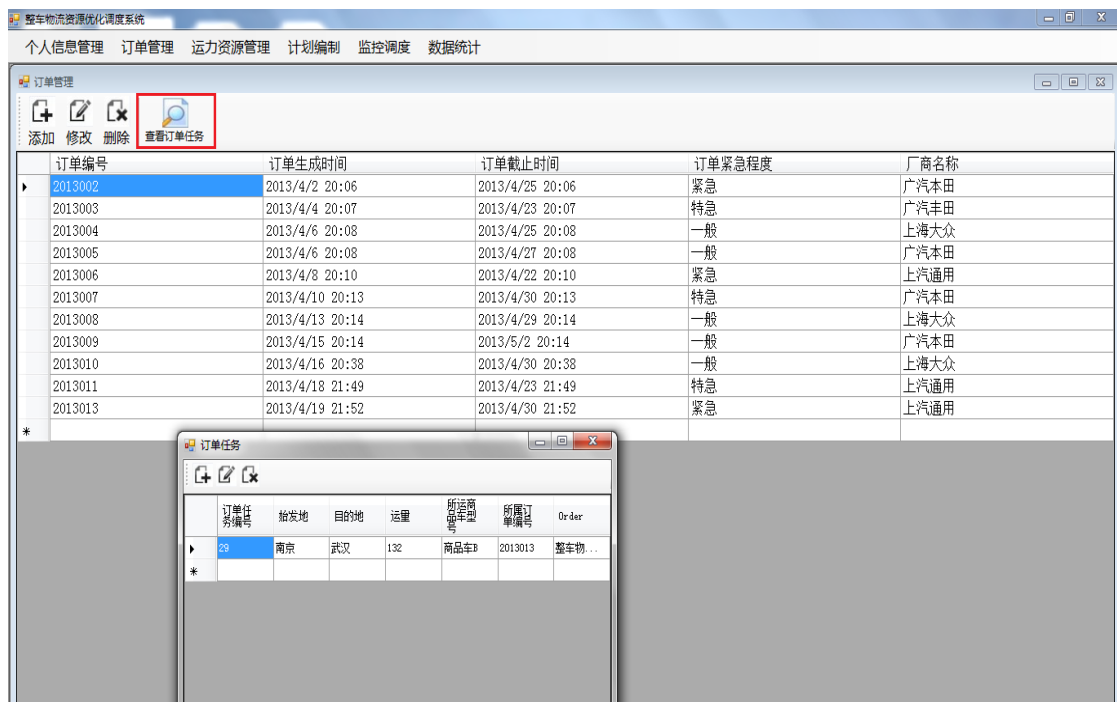


图 5-6 订单任务查询

如图 5-7 所示，为订单管理中的订单查询跟踪，在厂商名称、订单紧急程度、订单生成时间和订单截止时间中任意选择查询条件，点击确定之后，就可得到符合相应查询条件下订单的记录，如当查询条件是厂商名称不限、订单紧急程度特急、订单生成时间为 2013 年 4 月 3 日和截止时间为 2013 年 4 月 27 日时，得到符合条件的订单记录如 5-7 所示。

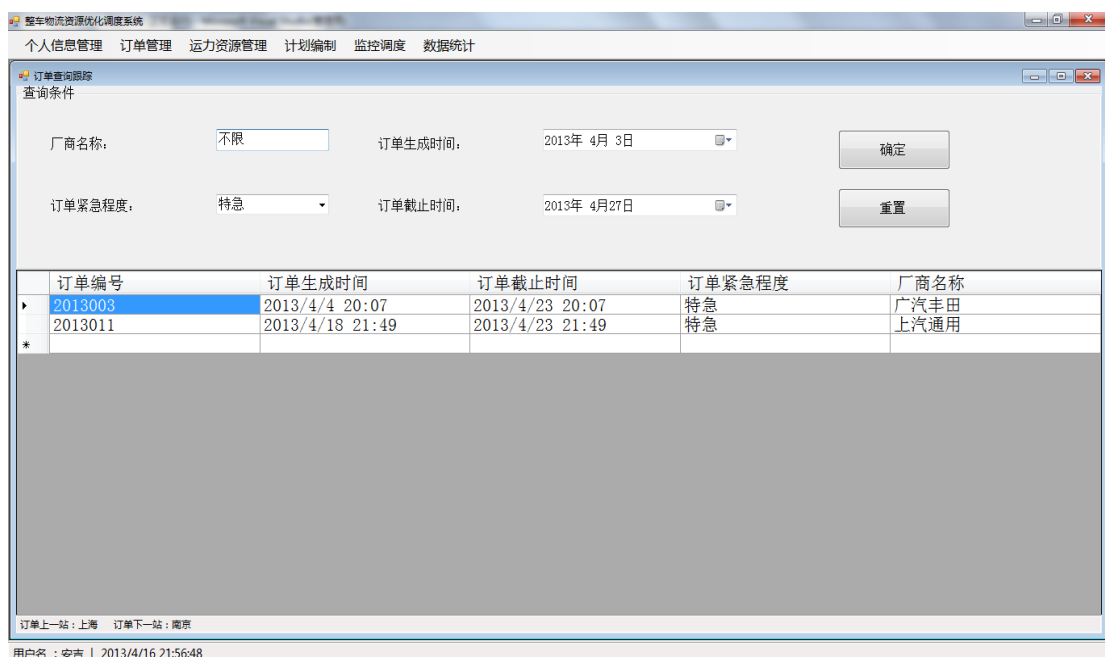


图 5-7 订单查询跟踪

系统针对运力资源进行有效地管理主要分为承运商管理和运输工具管理。因为承运商管理与运输工具管理功能类似，这里主要介绍承运商管理。如图 5-8 所示，为承运商管理中添加承运商，过程与订单的录入相似，首先添加承运商的名称、编号登记、类型、简介等信息之后，再添加承运商所拥有的运输工具的相关详细信息。对承运商信息进行修改或删除，与添加过程相似。

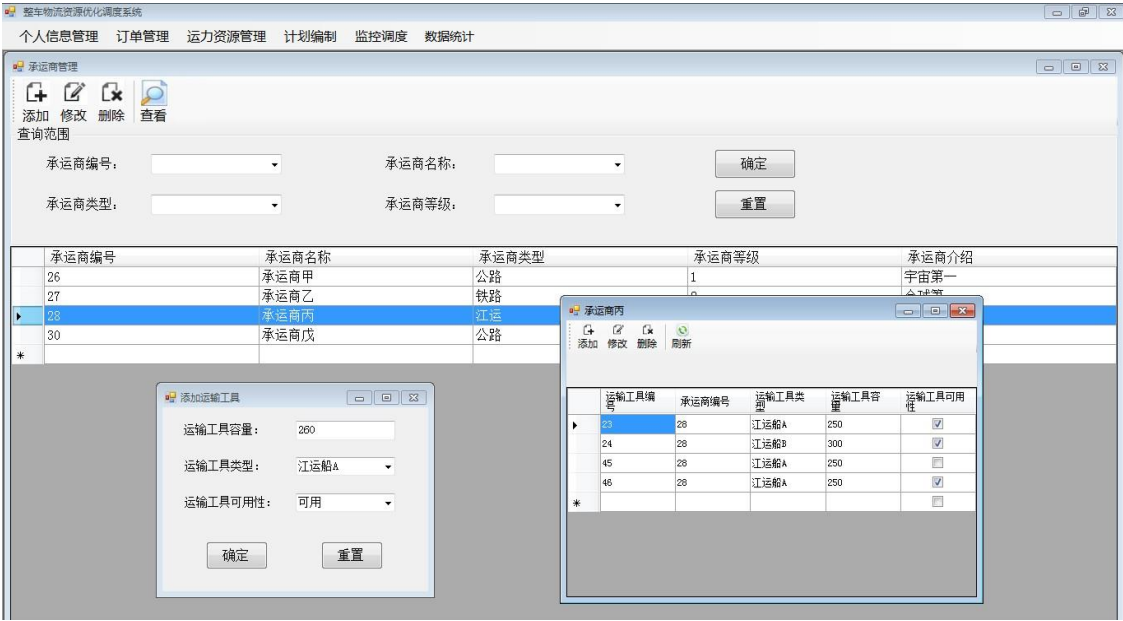


图 5-8 承运商管理

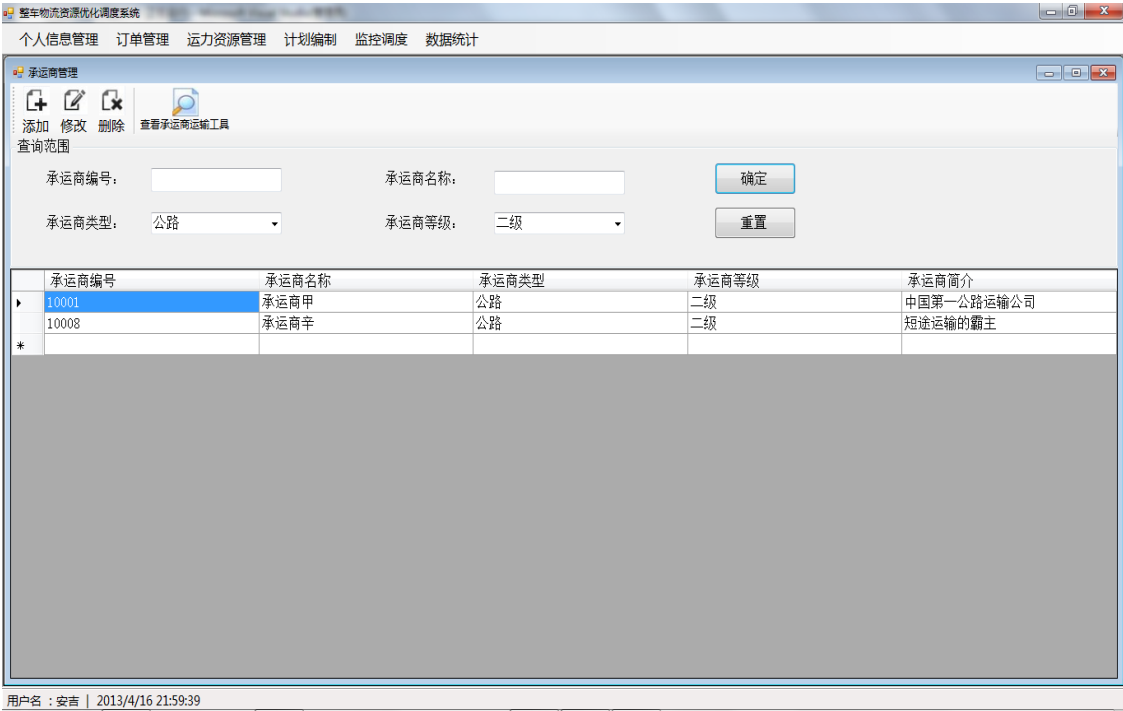


图 5-9 承运商查询



图 5-10 运输工具查询

如图 5-9 所示，为承运商管理中的承运商查询，同样，与订单的查询与跟踪类似，输入承运商编号、类型、名称和等级（也可缺省）等查询条件，就可得到符合条件的记录。如需要查询承运商类型为公路，等级为二级的承运商记录时，可以得到如图 5-9 所示的符合查询条件的承运商记录。图 5-10 为运力资源管理中运输工具管理部分对运输工具的查询。



图 5-11 计划优化目标选择

在计划编制过程中，主要分成两个阶段，线路优化和承运商运输任务分配。因为承运商运输任务分配中涉及到案例分析该算法，需要有一定任务分配这方面经验的专家进行设计实现，所以这部分的代码有待今后实现完整。这里就主要介绍线路优化这部分的系统实现。

在线路优化方面，首先选择优化目标，通过调研，了解到安吉是以单个订单未处理对象，这里输入订单编号后，点击“查看订单任务”就可以看到该订单的详细信息记录，如图 5-11 所示，选择对订单编号为 2013006 的订单进行优化时，查看订单任务得到的任务记录。

然后需要对一些权重和参数进行设置。首先要对多个目标的权重进行设置，通过不同权重的设置，来生成所需要的目标计划方案；同时由于环境外界因素对运输过程的影响比较大，所以也需要对两个地点之间的运输状况进行一个设置。如图 5-12 所示，对优化目标权重设置为成本权重 0.4、时间权重 0.4 和碳排放权重 0.2，运输环境设置为良好。点击“生成线路优化方案”，对这个编号的订单通过后台的启发式算法进行一个计算就得到了该订单的线路优化方案。如图 5-13，该线路优化方案中详细线路的信息。

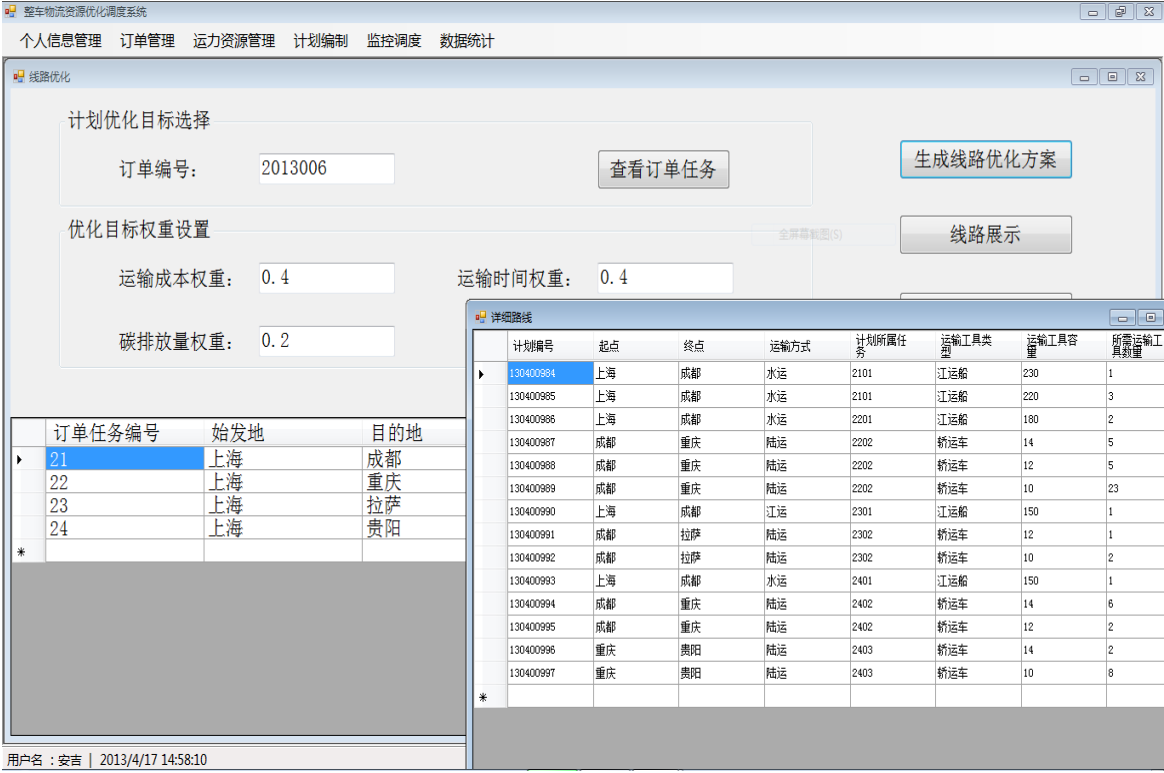


图 5-12 运输环境设置

计划编号	起点	终点	运输方式	计划所属任务	运输工具类型	运输工具容量	所需运输工具数量
130400984	上海	成都	水运	2101	江运船	230	1
130400985	上海	成都	水运	2101	江运船	220	3
130400986	上海	成都	水运	2201	江运船	180	2
130400987	成都	重庆	陆运	2202	轿运车	14	5
130400988	成都	重庆	陆运	2202	轿运车	12	5
130400989	成都	重庆	陆运	2202	轿运车	10	23
130400990	上海	成都	江运	2301	江运船	150	1
130400991	成都	拉萨	陆运	2302	轿运车	12	1
130400992	成都	拉萨	陆运	2302	轿运车	10	2
130400993	上海	成都	水运	2401	江运船	150	1
130400994	成都	重庆	陆运	2402	轿运车	14	6
130400995	成都	重庆	陆运	2402	轿运车	12	2
130400996	重庆	贵阳	陆运	2403	轿运车	14	2
130400997	重庆	贵阳	陆运	2403	轿运车	10	8

图 5-13 线路优化中详细路线方案

点击“线路图像展示”可以通过图像的展示对该订单的运输路线和运输方式进行一个宏观的了解。可以让我们更加直观和清晰的了解到最终的线路规划方案，但是由于时间以及 GIS 技术限制，目前我们的系统还没能够及时实现这一功能，下一阶段我们系统改善的目标就是实现计划方案图像展示功能，预期结果如图 5-14 所示。

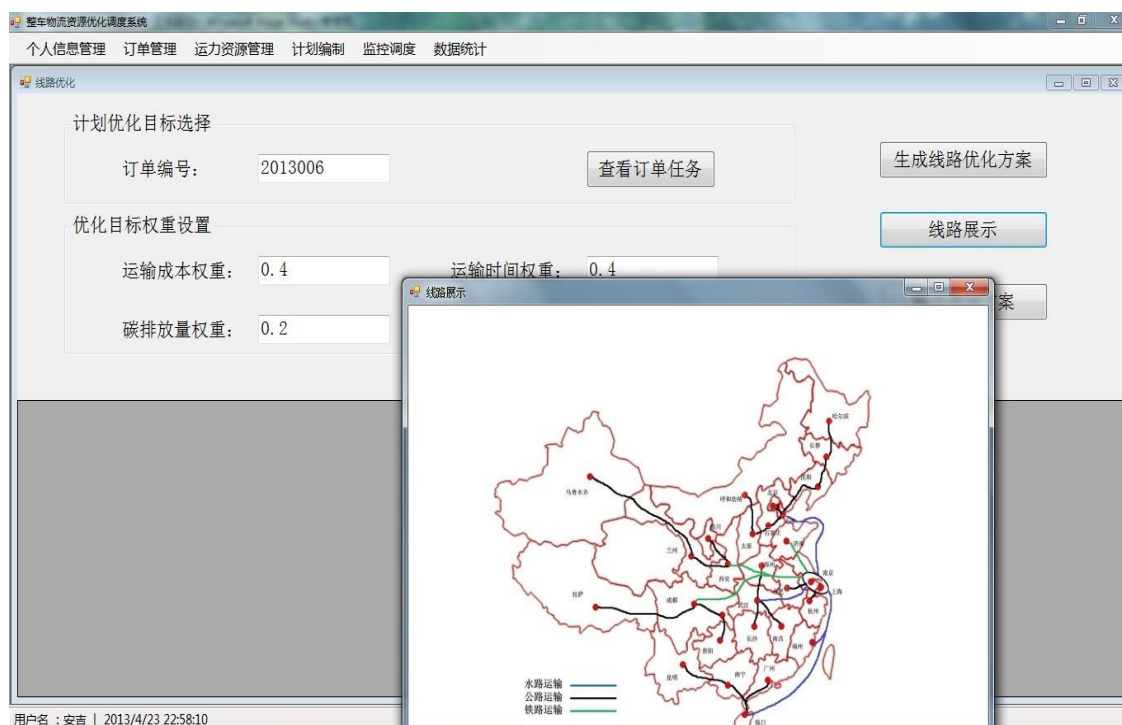


图 5-14 线路优化方案图像展示

此外，系统也实现了各方面数据统计的功能，包括对订单数据、运力资源数据和方案数据三个方面的数据统计功能，可以根据多维度的数据统计结果，生成图表形式，是统计数据的结果更加直观清晰。这里主要就订单数据统计和方案数据统计进行简单介绍。

如图 5-15 所示，首先选择订单数据统计选项，然后在数据统计目标的下拉框中选择按月订单量统计，点击“确定”，就可也得到近一年中各月份中订单量统计的数据，生成柱状图展示。



图 5-15 订单数据统计

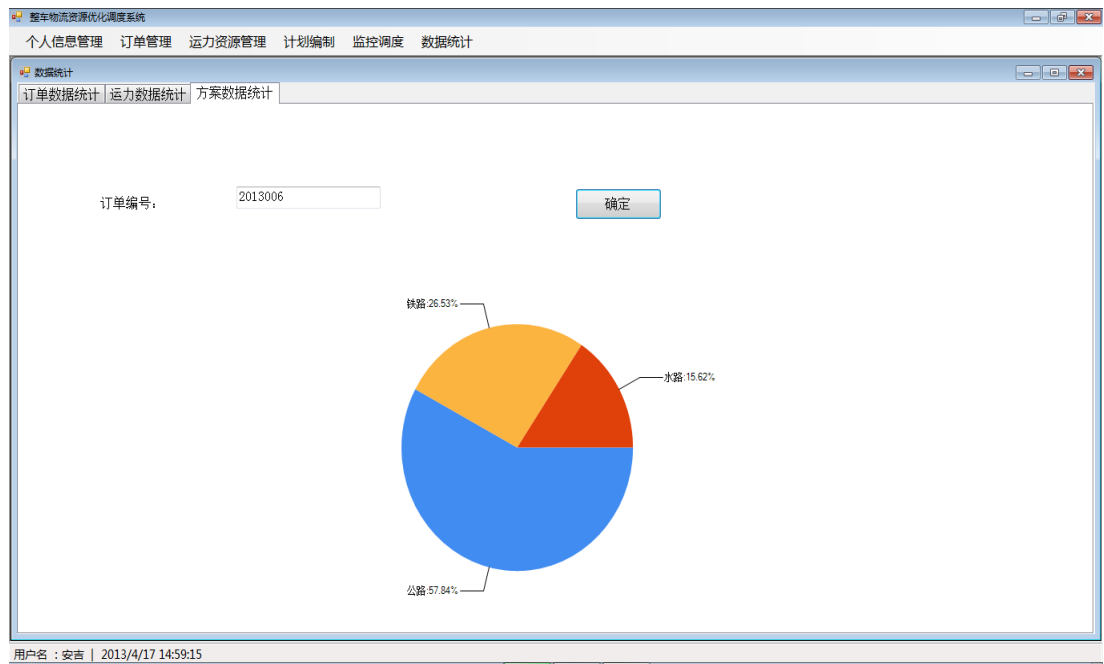


图 5-16 方案数据数据统计

如图 5-16 所示，首先选择方案数据统计选项，然后输入订单编号，点击“确定”，就可也得到该订单线路优化方案中各运输方式所占的比例的数据，生成饼状图展示。

针对监控调度部分，因为安吉在这部分已经有一套完整的系统和设备，我们这里并没有完全实现监控调度功能，只是提供了一个接口，与安吉现在的监控调度进行接洽。

5.5 本章小结

本章主要介绍了整车物流资源优化调度系统的设计与实现，该系统可以实现资源计划的快速和科学化制定，使实际的调度过程更高效有序。该系统包括计划编制系统和监控调度系统两部分，计划编制子系统是整个系统的主要部分，它作为实际的支撑系统，会完成资源计划编制工作以得到整车物流资源优化方案。在本章中我们展示了实际系统的各个功能模块和界面设计，主要功能模块包括运力资源管理和计划编制两部分。

6 总结与展望

我们针对安吉物流的整车物流板块的这整套优化设计，是以资源计划编制为主体，给安吉物流提供了一种优化的方式来运作整车物流系统，即如何综合业务因素和环境因素，通过定量计算与定性分析的有机结合，高效率高效用的整合企业的运力资源，使得在一定服务水平的前提下，以尽可能低的直接运输成本和时间成本保证企业的商品车配送需求能够被及时、高质量地满足。

（1） 设计方案内容

我们整个设计方案的设计主要包括整车物流资源优化方案设计和整车物流优化系统设计两部分。

优化系统是用来支撑整车物流资源计划的实际编制工作，该系统遵循资源计划编制的流程和运作内容，以整车物流订单为输入，利用现代化的计算手段，最终自动生成一套资源优化方案；并且提供订单实际处理过程中的监控调度功能，利用监控信息指导订单实际处理过程中的调度管理。

整车物流资源计划编制工作主要包括线路优化、运力计划和承运商运输任务分配三个内容：

- 线路优化是计划编制的主要部分。基于安吉的“两级分拨发运”的配送体系，线路优化设计包括确定商品车配送的实际运输方式和运输线路以及每条线路上的运载量。我们建立了相关的运输线路优化模型并且使用蚁群算法进行优化求解，得到关于某一批次订单的线路的启发式优化方案。
- 运力计划是完成对已经确定好的运输方式和运输线路的订单的运力需求的满足工作，主要内容包括运力需求与内部实际运力匹配、运力招投标工作；
- 承运商运输任务分配是当订单所需的运力已经足够并且已经生成了优化的线路方案时，将具体的运输任务分配给每一位承运商。其中会使用到基于案例推理和关联矩阵的优选分配方式。

（2） 设计方案特色

- 综合了安吉的整车物流的业务因素和环境因素，给出了一整套优化整车物

流资源计划编制工作的业务逻辑与具体流程，具有一定的普适性；

- 利用信息化的手段和优化的解决方法，例如蚁群算法、层次分析法等，可以自动生成优化的资源计划编制方案，大大减少了手工编制计划的工作量；
- 将整车物流资源优化方案与实际的系统设计相结合，通过系统来完成计划编制工作以得到资源优化方案，增强了该优化方案的实际可操作性；
- 整合整个配送过程的所有环节，考虑各个环节之间的相互关系和影响程度，将成本、时间和碳排放量最小化的目标贯穿于整个流程中而不是具体某一个环节；
- 在规划运输线路和运输方式的同时，也考虑了实际操作过程中可能出现的影响配送效率的运输方式之间的驳接问题，给定了一定的解决思路；
- 打破了单纯的运输公司运输业务量配比的局面，采用评价优选机制来给运输公司分配运输线路和运输量，同时能够促进运输服务质量的提高；

（3） 设计方案展望

- 计划实施过程中可能存在很多可变性和意外状况，我们必须尽可能多的考虑好可能发生的状况并且制定好应急策略，以提高整个方案的柔性和鲁棒性，这也是我们的方案需要继续改进的地方所在。
- 整套方案和系统的设计只是针对于安吉的整车物流业务板块，对于零部件物流和口岸物流的实际运作过程不适用。因此，下阶段我们有必要扩展方案的适用范围，争取能够解决安吉物流的所有业务模式下的配送过程的计划编制工作。

7 参考文献

- [1] 席文玲. 基于本体的物流配送车辆优化调度模型研究. 西安理工大学, 2010 年 3 月.
- [2] 章超华. 面向复杂任务情境的物流配送知识管理与重用模型研究. 浙江工商大学, 2009 年 3 月.
- [3] 裴卫东. 汽车售后配件配送运输优化方案的研究. 上海交通大学, 2007 年 3 月.
- [4] 刘霞. 物流配送中车辆调度问题的研究. 太原理工大学, 2009 年 7 月.
- [5] 朱木益. 物流运输网络优化研究. 上海海运学院, 2001 年 12 月.
- [6] 潘小霞. 应急作战军事物流配送方案. 江苏大学, 2010 年 6 月.
- [7] 王加林, 张蕾丽. 物流系统工程. 中国物资出版社, 1987 年 9 月.
- [8] 王尧. 基于本体的四方物流应急系统研究. 天津大学, 2009 年 5 月.
- [9] Dimitris J.B, David S. A new Generation of vehicle routing research[J]. Survey , Expository & Tutorial , 1995 , 44(2):286-303.
- [10] 魏众, 申金升, 黄爱玲, 张智文, 石定寰. 多式联运的最短时间路径--运输费用模型研究. 中国工程科学, 第 8 卷第 8 期.
- [11] 张建勇, 郭耀煌. 一种多式联运网络的最优分配模式研究[J]. 铁道学报, 2002, 24(4) : 114-116.
- [12] 王涛, 王刚. 一种多式联运网络运输方式的组合优化模式研究[J]. 中国工程科学, 2005, 7 (10) : 46-50.
- [13] 赵颖. 多式联运流程设计与仿真研究. 吉林大学, 2006 年 5 月.
- [14] 佟璐, 聂磊, 付慧伶. 多式联运路径优化模型与方法研究. 北京交通大学, 2010 年 5 月.
- [15] 刘舰, 俞建宁. 多式联运运输方式选择的模型和算法. 兰州交通大学学报, 第 29 卷 第 1 期, 2010 年 2 月
- [16] 吕凯. 面向多式联运的运输优化研究. 北京交通大学, 2008 年 5 月.
- [17] 郑小雪. 基于启发式函数蚁群算法的 VRP 优化研究. 福建农林大学, 2009 年 4 月.
- [18] 孙明. 蚁群算法在有时间窗的 VRP 问题中的应用研究. 首都经济贸易大学, 2009 年 3 月.
- [19] 吴隼. 基于改进蚁群算法的物流配送路径优化研究. 武汉理工大学, 2009 年 5 月.
- [20] 沈垚. 基于改进蚁群算法的配送路线优化研究. 东南大学, 2006 年 3 月.
- [21] 丘峰. 蚂蚁算法在国民经济动员系统车辆路径问题中的研究与应用[D]. 华中科技大学, 2003.
- [22] 宁宣熙, 刘思峰. 管理预测与决策方法, 第二版. 科学出版社, 2009 年.
- [23] 汪应洛主编. 系统工程, 第四版. 机械工业出版社, 2010 年.
- [24] 张淮鑫. C#开发宝典. 中国铁道出版社, 2010 年 11 月.