

## 摘 要

随着人们对产品质量要求的提高以及环保意识的增强,逆向物流开始引起人们的关注。越来越多的学者围绕逆向物流的成因、概念、分类等内容进行研究。自从上个世纪九十年代初欧美等西方国家开始对逆向物流进行研究,才把这一问题系统化、科学化地引入物流管理,并取得了一定的理论成果和实际效益。在目前许多行业进入微利时代的背景下,企业开始寻找新的利润增长点,越来越多的生产企业希望通过有效地实施逆向物流,达到保护环境,控制生产成本,增加利润,提升客户服务质量,进而提高企业竞争力的目的。

废旧家电逆向物流,也即我们俗称的废旧家电回收,是指以废旧家电产品的资源化利用和无害化处理为目的,对消费者使用后的废旧家电产品组织进行的收集、运输和储存活动。建立废旧家电产品逆向物流网络是可持续发展的要求,也是企业提高服务水平、进一步降低成本、挖掘利润的途径。

本文首先介绍了我国逆向物流产生的背景以及研究此课题的意义,分析了国内外研究现状,对国内外相关理论进行了介绍。第二章主要介绍了逆向物流的相关概念,包括其定义,分类,产生的原因以及与其他物流概念的比较,然后对废旧家电逆向物流进行了简要概述。第三章首先从逆向物流的结构特征出发,从不同的角度对逆向物流系统做了分类研究,然后从逆向物流网络着手,分析了逆向物流网络的构建环境、网络特征和网络的类型。第四章探讨了废旧家电产品逆向物流网络的规划设计,然后在此基础上建立了混合整数线性规划(Mix Integer Linear Programming, MILP)模型,并用此模型对集成物流系统网络的设施选址进行决策。第五章以某地区某冰箱制造厂为例,运用上述模型对该厂在该地区的集成物流网络进行了规划,并运用 lingo8.0 软件对该模型进行求解。

**关键词:** 逆向物流, 物流网络, 废旧家电

## ABSTRACT

With the people's attention to the product quality and the environmental protection consciousness enhancement, the reverse logistics start to cause continuously attention of people. More and more scholars research the origin, the concept, the classification of the reverse logistics. Since western countries such as Europe and America begin to study reverse logistics from 90's of last century, only then this question was introduced to logistics management systemically and scientifically, and has yielded certain theory results and actual benefits.

Under the premise that many industries enter meager profit time, for seeking new profit point of growth, more and more enterprises hope to protect environment, control production cost, increase profit, promote the quality of customer service, and then enhance competitive ability of enterprises, through implementing reverse logistics effectively.

Reverse logistics of discarded and used household appliances, also named as the recycling of waste electric appliances, refers to the activity of collecting, transporting and storing discarded and used household appliances so as to achieve the goal of recycle using of regional resources and reduce treatment. Establish old appliance reverse logistics network is fit the sustainable development request, the enterprise make good progress on the service level, further reduce costs, and excavation profit fountainhead.

Firstly, under the introduction of the background which reverse logistics comes into being and the present situation that the domestic and foreign research, this article introduces the related theory about reverse logistics. In the chapter 2, introduce the relate concepts, the origin, the classification of the reverse logistics. and the current situation of worn out electrical appliances. In chapter 3, introduce the construction of worn out electrical appliances reversion logistics network model. Than analysis the environment, the characters and the classification of worn out electrical appliances reversion logistics network. Secondly, in the chapters 4, to study the old appliance reverse logistics recycling network design. Based on the statements mentioned above, a MILP (Mix Integer Linear Programming) model is given to optimize the logistics system, and the locations of various facilities are decided. Finally, in the chapters 5, an example that considers the logistics system

of a refrigerator company in an area is taken to demonstrate the model presented in the dissertation, than use lingo8.0 soft to resolve the model.

**KEYWORD:** reverse logistics, network of logistics, worn out electrical appliances

## 论文独创性声明

本论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。论文中除了特别加以标注和致谢的地方外，不包含其他人或者其他机构已经发表或撰写过的研究成果。其他同志对本研究的启发和所做的贡献均已在论文中作了明确的声明并表示了感谢。

作者签名：南旭 日期：2007.7.10

## 论文使用授权声明

本人同意上海海事大学有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留送交论文复印件，允许论文被查阅和借阅；学校可以上网公布论文的全部和部分内容，可以采用影印、缩印或者其它复制手段保存论文。保密的论文在解密后遵守此规定。

作者签名：南旭 导师签名：李华 日期：2007.7.10

# 第一章 绪 论

## 1.1 选题的背景和意义

### 1.1.1 选题背景

在社会经济飞速发展的今天,随着科技的进步,产品的生命周期不断缩短,引起了产品销售渠道的不断拓宽;市场竞争的加剧,引起了供应链中成员之间地位的变化。这些原因再加上废旧物品中所蕴藏的巨大经济利益的驱动,产品和材料的回收再利用越来越受到生产商、供应商的重视。从物流的角度来看,这种废旧产品和材料的使用—回收—处理—再使用的循环方式引领了物流领域的新分支——逆向物流研究的发展。

在传统正向物流管理中,物流网络设计具有战略重要性<sup>[1][2]</sup>。同样,逆向物流网络设计是否合理,也从根本上决定了逆向物流运作的效率和效益。逆向物流网络设计是指确定废旧物品从消费地到起始地的整个流通渠道的结构,包括各种逆向物流设施的类型、数量和位置以及废旧物品在设施间的运输方式等。

现在各式各样的家电产品层出不穷,产品的寿命周期越来越短,大量产品因为功能失效而被迅速淘汰,废旧产品的数量正在以惊人的速度增加。家电产品量大面广,废弃情况十分严重。据统计,德国每年要产生电子垃圾 180 万吨,法国 150 万吨,整个欧洲约 600 万吨,美国有 100 万吨。目前我国电冰箱的社会保有量约为 1.1 亿台,洗衣机 1.5 亿台,电视机 3.2 亿台。根据社会保有量测算<sup>[3]</sup>,今后进入更新期的家电产品为电冰箱平均每年 400 万台、洗衣机每年 500 万台、电视机每年 500 万台,从 2003 年开始已进入大批量更新时期。大量废旧家电产品的产生给生态环境带来了沉重的负担。

大量的废旧电子电器产品(waste electrical and electronic equipment, 简称 WEEE)如果处理不当,将造成资源的严重浪费和极度的环境污染。WEEE 的回收处理已经成为困扰我国经济社会发展的一大难题,我们有必要对废旧家电废弃物的回收逆向物流进行系统的研究。

尤其是家电行业,大量废旧家电产品的存在对环境造成了严重的威胁,影响着人类的生存环境和质量。电子电气产品是由金属、塑料和化工等多种材料组成的综合性工业产品,其报废后应归属于有毒、易爆和易泄漏的危险废物范畴。废旧家电

被弃置后如不经处理而同城市垃圾混为一体直接填埋或焚烧的话,会对大气、土壤和水源造成严重的污染。因此,从环境保护的角度,必须合理的利用和处理废旧家电产品,以防止其对环境及人类造成危害。

废旧家电产品还是一笔不可忽视的宝贵资源,大量废旧家电产品的随意处理造成了资源的极大浪费。在废旧家电产品中含有大量可回收的有色金属、黑色金属、塑料、玻璃以及一些仍有使用价值的零部件等,如电视机中玻璃占 53%,铁、铜、铝共计占 16%,有价物比例为 69%;电冰箱和洗衣机的材料构成相似,铁、铜、铝合计的有价物比例都比较高,电冰箱为 54%,洗衣机为 58%;空调器中铜和铝的比例还要高一些<sup>[4]</sup>。因此,对废旧家电产品进行回收,可以使其中的零部件与材料得到更有效的再利用。从而节约大量的资源、能源,降低产品的成本,提高产品的市场竞争力。

中国家电业是市场化最早的行业,也是最早直面国际竞争的行业。无论从哪个角度来看,中国家电物流都走在行业物流的前列。即便是这样,家电物流仍然留有空白,这个空白主要体现在逆向物流中的终端使用废弃品的回收上。

### 1.1.2 选题意义

经济的不断发展和家电产品的不断普及应用,使得废旧家电产品的回收与再利用已经成为一个必须面对的严峻问题。有效的回收与再利用可以实现组成材料的回收,节约资源和能源,降低生产成本,同时大大降低废弃物的排放量,减轻对环境的压力,对我国乃至整个世界的可持续发展具有重要的积极作用。在对废旧家电产品进行回收处理的过程中会产生从消费者到生产者的物流活动,对废旧产品进行回收处理需要适当的基础设施,从而构成了逆向物流网络。家电产品逆向物流的运作效率直接依赖和受限于逆向物流网络结构,在废旧家电产品的逆向物流中,确定逆向物流网络的结构是极其重要的工作,因为它是形成系统的第一步,并且系统结构对其运作绩效起着决定性作用,因而必须合理设计家电产品的逆向物流网络,确定废旧家电产品整个流通渠道的结构,包括各种逆向物流设施的类型、数量和位置以及废旧产品在设施之间的运输方式等。然而确定逆向物流系统结构又是一项十分复杂的任务,这是由于逆向物流网络自身具有的特性所决定的。

家电产品在现代社会中量大面广,家电产品逆向物流参与者包括家电产品材料供应商、家电产品制造商、分销商、运输商、零售商、维修服务商和回收处理商以及再分销市场用户等。在整个家电产品的正向物流和逆向物流网络中,应该系统、综合地考虑资源环境特性,使家电产品整个生命周期的资源利用率最高、对环境的影响最小。

在我国,由于地区经济发展不平衡,同时现有的废旧家电产品回收渠道存在着

许多不完善的地方, 缺乏完善的家电产品逆向物流网络, 这使得建立完善的废旧家电产品物流网络显得尤为重要。

## 1.2 国内外研究现状

### 1.2.1 逆向物流网络的研究

逆向物流是一个新兴的研究领域, 目前关注的焦点是解决逆向物流网络的设计问题, 包括建立反映逆向物流网络特征的数学模型以及开发快速有效的算法。国外对逆向物流网络的研究主要是进行定性分析和定量分析, 国内主要是对逆向物流网络作了定性研究。

#### 1. 国外的研究现状

##### (1) 有关逆向物流网络的定性研究

国外对产品逆向物流及其网络作了大量的定性研究。Gultinan 和 Nwokoye<sup>[5]</sup>先对逆向物流网络结构进行定性分析, 从成本的角度讨论了结构特征和设计原则。由于当时社会认识的局限性, 没有从产品的生命周期来分析, 忽视了可持续发展等问题。随着人们环保意识的增强, 对逆向物流系统结构有了进一步认识, 许多学者从环保、绿色经营、绩效、物流渠道、企业战略等不同角度研究了逆向物流系统的结构特征和设计原则, 为建立有效的逆向物流系统结构提供了正确的指导。

Fleischmann M、Hans Ronald Krikke 等<sup>[6] [7]</sup>归纳了逆向物流网络系统基本特征是高度复杂性, 目标的复杂多样性, 具有天生的供需失衡本性, 产品的逆向物流系统具有“从多到少”的特性。Fleischmann M<sup>[8]</sup>还分析了逆向物流系统的功能是收集、检测和分类、再处理、废弃处置、再分销等, 并提出了逆向物流系统的设计原则。

Harold Krikke<sup>[41][42]</sup>于 2001 年在总结传统物流系统设计原理的基础上, 根据逆向物流的特点从经济、环保、物流渠道等角度提出了闭环型逆向物流系统结构的设计原则, 包括供应商选择标准、对产品生命周期的分析、行业管理标准、以及考虑产品质量、回收率、环保和可持续发展等方面。

##### (2) 有关逆向物流网络的定量研究

国外除了以上对产品逆向物流及其网络所作的定性研究外, 还作了大量的定量研究。由于逆向物流网络结构的复杂性, 针对某一类具体产品进行个案研究的文献相对较多, 也取得了较好成果。Fleischmann 等在 2001 年到 2002 年期间针对 IBM 公司产品的特点, 研究了从其使用过的产品中回收可再利用零部件的网络结构, 以及回收行为对企业经济效益的影响。研究结果表明<sup>[9]</sup>, 电子产品的回收再利用给该行业带来了巨大的潜在效益, 这些结果促使 IBM 公司调整其营销计划: 在北美、欧洲和亚洲中无偿或有偿地回收使用过的产品并大力推行租赁服务, 到目前为止, 租赁业务已占其硬件销售量的 35%。

目前,进行逆向物流系统结构研究的产品类型有:日常生活用品、耐用品、电子产品、纺织品、工业副产品或废弃物、建筑废弃物等<sup>[10-15]</sup>。但多数研究为个案研究,并且仅限于独立的逆向物流系统,而未将逆向物流系统与传统的正向物流系统有机整合在一起,更未形成完整的理论体系。此外,受逆向物流的不确定性和信息制约等因素的困扰,文献大多仅限于对问题的静态、单一运作周期情况的考虑,并且研究重点基本都集中在系统的组织结构(如成员的功能、成员选择和选址定位,而对系统的信息结构(包括信息的类型和特征、信息集成和信息共享策略)和决策结构(包括决策机制、契约合同的订立、决策权力的调配以及利润的分配)则鲜有研究。

Jayarama<sup>[12]</sup>等在1999年研究分析了美国电子设备再制造公司的物流网络结构,根据对旧产品(或核心部件)的收集、再制造和再制造产品的分销等处理流程,考虑投资、运输、处理、存贮等成本因素,并在假设消费者对再制造产品的需求与其对旧产品的处理无关等条件下,建立了一个确定仓储容量和位置的MILP(Mix Integer Linear Programming)模型,以确定网络结构中最优的机构设置数量和设置地点。

Krikke H R于1999年针对耐用消费品(如复印机等)提出了一个构建多级回收网络的混合整数线性规划(MILP)模型。他们重点研究了荷兰某一复印机制造商对某一型号复印机建立一套再制造运作程序(分解、修理更换和再组装)的情况。在再制造过程中,对拆卸分解下来的零件进行检测,剔除已坏或无用的后便得到可再利用零件,假设其数量达到某一固定水平,从运作成本最小的角度在设定的方案中选择出最优的设置地点。

由于再生和再制造处理过程往往需要多种设施,故所建立的模型通常是多级的混合整数线性规划(MILP)模型<sup>[16,17]</sup>,目标函数大多是从产品运行周期的角度要求平均成本最小,约束条件则一般包括物流运输的平衡约束、生产处理能力约束、库存容量限制约束、设备数量约束以及决策变量的非负约束或非负整数约束。

由于逆向物流在时间、数量、质量上都具有高度的不确定性,从而建立的生产回收模型中包括有大量描述供应、分销、逆向物流动态变化的参数,模型往往难于用解析方法求解,而需要借助计算机进行仿真模拟。

Bernd E.Hirsch、Thorsten Kuhmann、Jens Schumacher等<sup>[18]</sup>在1998年讨论了LOCOMOTIVE仿真工具在设计具有生命周期特点产品的循环再生网络结构中的应用,利用LOCOMOTIVE仿真工具不但能确定最佳的物流网络结构而且还能计算物流运作对生态环境的影响。此外,由于操作的便利性,该仿真工具正逐渐被用于中高层管理中,以便让管理者从战略决策的层次寻求合适的物流方案。

Pohlen和Farris<sup>[40]</sup>在1992年提出根据物流网络系统中不同成员完成的再循环或再制造功能的差异,构建不同的逆向物流系统。

从产品需求和物品回收是确定性还是随机性的情形来划分,优化模型可相应分为确定型的选址定位模型和随机型的选址定位模型<sup>[19]</sup>。另外,一些学者通过简化、假设的手段,用建立优化模型的方法定量研究分析了某些情形下回收网络结构的优



化设计, 模型研究的重点基本上都集中在网络组成成员的数量确定和选址定位上。

## 2. 国内的研究现状

国内目前的相关研究工作主要是对逆向物流网络作了定性研究, 对国外的研究作了综合分析。

夏绪辉、刘飞等<sup>[20]</sup>从供应链管理理论的角度阐述了基于供应链与逆向供应链管理的企业集成, 介绍了产品逆向物流网络的设计原则。

马祖军、代颖等<sup>[21, 22]</sup>研究了逆向物流系统的功能, 分别为收集、检测、再加工、分销、废弃处理等。并且根据废旧产品的种类及其回收处理方式的不同, 将逆向物流网络的类型和结构分为 4 种分别为可直接再利用逆向物流网络、再制造逆向物流网络、再循环逆向物流网络和商业退回逆向物流网络等。另外, 马祖军等<sup>[23]</sup>还考虑了再制造物流系统中废旧产品回收量和产品需求量的不确定性, 提出了一种单产品、单周期、有能力限制的再制造物流网络稳健优化设计模型。以用来确定再制造物流网络中各种网络设施的数量和位置, 并在由此构成的各条物流路径上合理分配物流量。

达庆利、黄祖庆<sup>[23]</sup>等对物流网络结构形式进行分析, 认为物流网络结构可分为开环型网络结构和闭环型网络结构两种。开环型结构指回收的物品不回到初始的生产商而用于其他企业(第三方逆向物流)的情况; 闭环型结构指回收的产品或包装材料回到初始的生产商的情况, 利用传统物流渠道中的现有企业成员, 在原有网络上或通过专业物流服务商来构建逆向物流系统。特别是当产品或其核心部件涉及企业的保密技术时, 为防止其它企业仿冒产品, 保持企业自身的垄断地位, 企业往往构建闭环型的网络系统来回收再利用废旧产品。

在传统的物流系统构建中, 需要确定仓库位置和仓储容量, 这就形成选址定位问题, 通常建立混合整数线性规划(MILP)模型来求解, 模型相对较为简单, 亦容易求解。而逆向物流系统中的回收物品多数需要经过检测、分级、修复等运作工序, 因而需要确定相应处理设备的安装地点及处理能力, 这导致逆向物流系统的选址定位比传统的选址定位问题更为复杂, 所建立的模型也更难求解, 常常只能用数值计算的方法得到数值解。

夏守长等<sup>[24]</sup>分析了再制造物流网络的研究现状及发展趋势。

顾巧论、陈秋双<sup>[26, 27]</sup>等分析了再制造/制造集成系统的信息网络结构, 主要包括 Internet 层、Intranet 层和 Extranet 层在内的三个信息网络层次。解释了各个层次的涵义及其应用, 阐述了信息网络的作用, 并综合考虑了政府、社会、企业的相互作用关系。

目前国内对逆向物流网络的研究, 大多集中在理论研究阶段, 且为定性研究。由于我国具体国情的限制, 企业的实际应用还很少。

## 1.2.2 废旧家电逆向物流现状

### 1. 国外废旧家电逆向物流现状

在美国、日本及欧盟等经济发达国家和地区，家电普及率很高，并且更新换代速度快，导致废旧家电大量产生。美国是世界上最大的家电产品生产国和消费国，同时也是废旧家电最多的国家。据美国国家安全委员会估计，从1997年到2004年，全美仅报废的电脑就达到3亿多台，而到2005年，在每1台新电脑投放市场的同时就有1台旧电脑加入废旧家电的行列。目前欧洲每年废旧家电的产生量约600万吨，其中德国废旧家电产生量达180万吨。日本每年废弃的家电制品在1600万台至1800万台之间，总重量约为60万吨，相当于一般废弃物的1%。如何处理这些废旧电器，已成为当前一些国家政府、环保组织、以及高科技企业关注和头疼的难题。这些国家对废旧家电的处理，初期大都采用填埋等比较原始的方法，但是随着填埋场地的紧张以及对环境问题的日益重视，各国都陆续出台了許多有关废旧家电回收的法律法规，对企业的行为施加了越来越多的约束力。各国政府也都意识到了废旧家电给环境带来的危害，鉴于此，一些国家也已经或正在建立废旧家电逆向物流系统对废旧家电进行处理。

美国早在20世纪90年代初就对废旧家电的处理制定了一些强制性的条例，2002年，针对废旧家电的回收利用又出台了一系列法规法令，对从事回收家电产品中制冷剂的人员资格、使用的设备以及回收比率等都做出明确的规定，使废旧家电的回收利用过程能够达到政府所规定的各项要求和技术指标<sup>[28]</sup>。作为电脑产品的生产和使用大国，美国也把电脑等电子产品归入家电产品类进行法律上的约束。美国还通过干预各级政府的购买行为，确保有再生成分的产品在政府采购中占据优先地位，以此推动包括废旧家电在内的废弃物的回收利用。迫于舆论的压力，美国国内一些家电生产厂商开始致力于回收其家电产品。一个包括佳能、惠普、柯达等2000多家电脑及电子生产商的组织曾于2001年10月开始在美国各地进行为期一年的回收试验计划，测试各电子产品在回收方面的成本与效益，以期推出长远的回收计划。在个人电脑生产与销售处于世界领先地位的IBM公司，早在15年前就开始了回收利用旧电脑的工作。总之，废旧家电的逆向物流在美国已经受到政府、生产厂商和消费者越来越多的重视。与此同时，如何设计既容易回收、又对环境损害较小的家电产品，已经成为一些知名公司的研究重点。

日本是世界上最早实施废旧家电逆向物流的国家。早在1998年5月，日本便颁布了旨在使废旧家电再商品化的“家电回收法令”。根据这项法律，废旧家电逆向物流由家电的生产企业、零售商、消费者共同承担。其中，消费者需要支付废旧家电回收处理的费用，比如每丢弃一台废旧电视机或洗衣机、空调、电冰箱，其所有人要分别支付2700日元、2400日元、3500日元、4600日元的费用，违反法律规定的要受重罚，消费者还要承担电器的回收搬运费用，此费用因店家、厂家、地域

的不同而有所分别；零售商负责废旧家电收集和将其送交生产厂家；家电生产企业负责废旧家电的回收利用。该法还明确规定了废旧家电回收利用的比率为：空调 60% 以上、阴极射线管电视机 55% 以上、冰箱 50% 以上、洗衣机 50% 以上等。在日本，80% 的废旧家电都到了回收处理，并且从中回收的各种金属材料达 10 万吨以上<sup>[26]</sup>。

2004 年 8 月欧盟《电子垃圾处理法》出台<sup>[29]</sup>，根据此项法律，欧盟的许多国家都已或正在建立废旧家电逆向物流系统，对废旧家电进行处理。比如在德国，负责废旧家电逆向物流的机构都是各市区直属的市政企业。为了方便民众进行废旧电器的回收，当局提供了几种收集废旧电器的方法：一是居民主动与负责回收旧电器的市政企业取得联系，由企业派人上门服务，但居民需要支付一定的运输费用；二是居民自己开车将旧电器送到指定的回收中心，不用交纳任何费用；三是居民按照指定的时间，将旧电器送到指定的地点，然后由有关部门统一运走。以上收集到的废旧电器到了回收处理中心后，经过科学整理分类，尚可使用的电器经过安全检查，更换老部件及清理、消毒后提供给社会进行再利用；没有使用价值的废电器，须在环保部门认可的拆卸场所按金属、塑料、电路板、电气元件等分类，送交专业化处理，或熔炼，或化学分解，或焚烧处置。

但是在大多数国家建立废旧家电逆向物流系统对废旧家电进行处理时，也有少数国家从本国利益出发，将废旧家电通过某种途径出口到一些发展中国家，而这些国家并不是拥有更先进的废旧家电处理技术，只是通过一些原始的方法提炼废旧家电中的贵金属，在取得经济利益的同时，也给环境造成了严重的危害。

## 2. 国内废旧家电逆向物流现状

我国作为一个家电生产和消费大国，目前电冰箱的社会保有量约 1.2 亿台，洗衣机约 1.7 亿台，电视机约 4 亿台。按国家有关标准：电冰箱平均寿命为 10 年左右，洗衣机平均寿命为 8—9 年，电视机为 2—3 万小时。我国家电产品是 20 世纪 80 年代中后期开始普及进入百姓家庭的，按正常的使用寿命 10—15 年，大多已到了报废期。我国从 2003 年起就已进入家电淘汰的高峰期，每年有数以百万计的废旧家电产生，电冰箱年均淘汰数量达 400 万台，洗衣机、电视机年均淘汰数量达 500 万台。与此同时，废旧空调、家用电脑也日渐增多。

这些废旧家电现今的处理方式，一是继续使用；二是作为垃圾丢弃；三是回收处理利用。由于废旧家电都已过了设计寿命期，继续使用，必然会造成电力的浪费和噪声干扰，严重的还会威胁消费者的人身安全。

作为垃圾丢弃的废旧家电，将会对环境造成长期污染。家电产品是由金属、塑料和化工等多种材料组成的综合性工业产品，其报废后应归属于有毒、易爆和易泄漏危险废物范畴。废旧家电被弃置后不经处理，而同城市垃圾混为一体直接填埋或焚烧，会对大气、土壤和水体造成严重的污染。

即使在第三个方面——回收处理利用，也存在着许多严重问题。现行的回收处

理方式采用的是不规范的落后回收工艺，通常是一些私人和小企业采用酸泡、火烧等落后的工艺流程提炼其中的贵金属，产生大量废气、废水和废渣，不但给环境造成了严重污染，也给公民健康造成了严重的损害。

虽然废旧家电存在以上问题，但我国至今仍然没有建立一个完善的废旧家电逆向物流系统。大量的家电超期服役和废旧家电任意处置的现象较为普遍，由此产生的安全隐患、能源浪费及环境污染问题越来越严重。值得庆幸的是我国现已意识到了这个问题的严重性，近年来，我国有关部门也在着手研究家电回收处理体系工作，国家发展和改革委员会也提出了《废旧家电及电子产品回收处理管理条例》。《废旧家电及电子产品回收处理管理条例》以资源循环利用和环境保护为目标，提出建立废旧家电多元化回收和集中处理体系，实行生产者责任制，国家建立废旧家电回收处理专项资金，回收处理企业实行市场化运作，国家在政策上给予鼓励和支持，我国废旧家电逆向物流系统构建的各项工作也正在进行中。

### 1.3 本文的研究内容

本文主要分为以下六个方面的内容：

第一章绪论部分介绍了我国逆向物流产生的背景以及研究此课题的意义，然后介绍了国内外逆向物流的研究现状和废旧家电逆向物流的现状。

第二章介绍了逆向物流的相关概念，包括其定义，分类，产生的原因以及与其它物流概念的比较，然后对废旧家电逆向物流进行了简要概述。

第三章首先从逆向物流的结构特征出发，从不同的角度对逆向物流系统做了分类研究，然后从逆向物流网络着手，分析了逆向物流网络的构建环境、网络特征和网络的类型。

第四章探讨了废旧家电产品逆向物流网络的规划设计，然后在此基础上建立了混合整数线性规划(Mix Integer Linear Programming, MILP)模型，并用此模型对集成物流系统网络的设施选址进行决策。

第五章以某地区某冰箱制造厂为例，运用上述模型对该厂在该地区的集成物流网络进行了规划，并用 lingo8.0 软件进行求解。

最后对论文进行了总结，并结合目前的研究现状对相关研究方向作了展望。

## 第二章 废旧家电逆向物流基本概述

### 2.1 逆向物流概述

#### 2.1.1 逆向物流的定义

逆向物流的提法最早出现于上个世纪 80 年代。目前关于逆向物流的定义有很多，一种比较公认的，并被美国物流管理协会(The Council of Logistics Management)所采用的定义是：“逆向物流是为了资源回收或处理废弃物，在有效及适当成本下，对原料、在制品、成品和相关信息，从消费点到原始产出点的流动和储存，进行规划、执行与管制的过程。”<sup>[30]</sup>从定义可以看出，逆向物流是指为了重新获取产品的使用价值或正确处置废弃产品，而将原材料、半成品、制成品及相关信息由下游消费的一端返回上游生产一端的过程。实施逆向物流的目的是为了重新获得产品的使用价值或者正确处置废弃产品；流动的对象包括产品、产品运输容器、包装材料及相关信息；同时，为了实现物流的目的，必须对退回产品或废弃物进行回收、分类、检验、拆卸、再生产及报废处理等活动<sup>[31]</sup>。从这个定义出发，我们可以看到从使用过的包装到处理过的电脑设备，从商品的退货到机械零件的回收等，都可以归入逆向物流的范畴。废旧家电产品的回收作为电子废弃物物流的一部分，也属于逆向物流的范畴。

#### 2.1.2 逆向物流的分类及其产生的原因

为了对逆向物流做进一步的分析，我们需要对逆向物流进行分类，当然不同的分析角度有不同的分类方法，比如有的文献按逆向物流形成的原因将逆向物流分为投诉退货、终端使用退回、商业退回、维修退回、生产报废与副品以及包装回收等六类<sup>[32]</sup>。也有按回流物品的特征和回流流程，将逆向物流分为低价值产品物料逆向物流、高价值产品的零部件逆向物流及可以直接再利用产品的逆向物流等三类<sup>[32]</sup>。中国国家标准《物流术语》则将逆向物流分为回收物流和废弃物物流两类<sup>[33]</sup>。本文将逆向物流分为退货逆向物流和回收逆向物流。物流网络示意图见图 2-1。

##### 1. 退货逆向物流

退货逆向物流是指下游客户将不符合订单要求的产品，根据销售协议规定将接

近有效期限的产品或者有瑕疵的产品退回给上游供应商(包括产品召回),其流程与常规产品流向正好相反。在这个流程运行过程中,客户处于主动地位,企业处于对客户需要的响应地位。

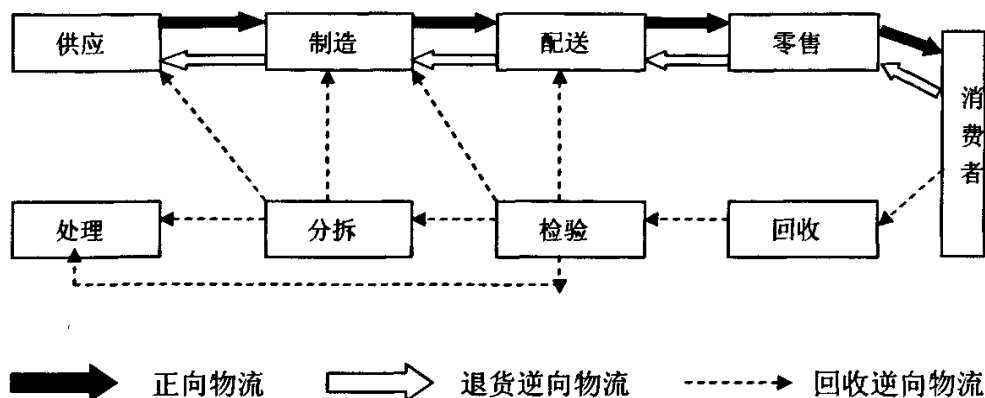


图 2-1 物流网络示意图

退货逆向物流的产生主要是因为高退货率,而高退货率是由以下原因造成:

(1) 供应链中的力量转移。竞争的加剧和产品供应量的增加使买方在供应链中的地位提升。为了提高竞争力,许多生产商允许批发商或零售商售出商品后再付款,并且对那些未售出的商品回收。这就使得一些批发商和零售商大量进货,当商品未售出时就退还给生产商,由生产商对这些产品进行处理。

(2) 新的分销渠道。电视购物和网络直销等新的分销渠道的出现使商品直销成为可能,在方便顾客的同时,也增加了退货的可能性,这主要是因为顾客不能直接看到商品以及商品在运输过程中被损坏。一般零售商的退货率是 5%到 10%,而通过这种新的分销渠道销售的产品退货比例最高则达到 35%。

不论是供应链的力量转移还是新的分销渠道都使产品的退货率大幅上升,企业不得不采取有效的措施对这些退回的产品进行管理,退货逆向物流由此而生。

## 2. 回收逆向物流

回收逆向物流是指将最终客户所持有的废旧物品,或者他们不再需要的物品,或者包装材料(包装器具,如酒瓶等)以及用于物流配送的专用器具(如托盘、集装箱等)回收供应链上游各节点企业,通过检验分类,进行再加工、再分销或者报废处理的过程。在这个流程运行过程中,企业处于主动地位,下游客户处于被动响应地位。它包括五种物资流:

- a. 直接再销售产品流:回收→检验→配送;
- b. 再加工产品流:回收→检验→再加工;

- c. 再加工零部件流：回收→检验→分拆→再加工；
- d. 报废产品流：回收→检验→处理；
- e. 报废零部件流：回收→检验→分拆→处理。

本文以完成正常生命周期的废旧家电的回收逆向物流为研究对象，并不包括那些因为存在质量缺陷而被厂商召回的产品。

回收逆向物流主要包括以下几个环节<sup>[34]</sup>：

(1) 回收。回收是将顾客所持有的产品通过有偿或无偿的方式返回销售方或回收机构。这里的销售方可能是供应链上任何一个节点，如来自顾客的产品可能返回到上游的供应商、制造商，也可能是下游的配送商、零售商。回收机构则包括专业回收公司、私人回收组织等。

(2) 检验与处理决策。该环节是对回收品的功能进行测试分析，并根据产品结构特点以及产品和各零部件的性能确定可行的处理方案，包括直接再销售、再加工后销售、分拆后零部件再利用和产品或零部件报废处理等。然后，对各方案进行成本效益分析，确定最优处理方案。

(3) 分拆。按产品结构的特点将产品分拆成零部件。

(4) 再加工。对回收产品或分拆后的零部件进行加工，恢复其价值。

(5) 报废处理。对那些没有经济价值或严重危害环境的回收品或零部件，通过机械处理、地下掩埋或焚烧等方式进行销毁。

废旧家电的逆向物流作为回收逆向物流的一部分，包括了以上所有环节。回收逆向物流产生的原因主要有：

(1) 环境法律法规的制约。经济的发展给环境带来了很大的影响，环境污染问题日益严重，各国对环境问题也日趋重视，对于废旧产品和包装物造成的污染，政府开始采取管制措施，出台有关产品和包装物回收的法律法规，强制性的法律法规使得企业不得不采取积极的应对措施，对产品和包装实施回收逆向物流，以期达到法律的要求。法律法规在对本国企业制约的同时，也对他国的产品进口进行制约，这就是所谓的绿色壁垒，这也使得一些产品出口企业不得不实施回收逆向物流。

(2) 日益缩短的产品生命周期。产品更新换代的速度日益加快，使得消费者购买更加频繁，当消费者从更多的选择和功能中受益时，也导致了消费者淘汰更多的不再需要的产品，这就使得产品的生命周期日益变短。对于这些淘汰的物质，如果能进行有效的回收就能被充分利用，回收逆向物流此时的作用就非常明显。

(3) 对用户和社会的责任感。买方市场的发展，导致产品竞争激烈，消费者的影响力逐步增大，企业对用户和社会的责任感增强。当产品由于企业自身的原因存在某种质量或技术问题，有可能导致消费者权益受损，企业就会对这些有缺陷产品进行召回，产品召回逆向物流就产生了。

### 2.1.3 逆向物流与其它物流概念的对比

#### 1. 逆向物流与正向物流比较

逆向物流与正向物流在构成和职能方面有共同点,都具有包装、装卸、运输、储存、加工等环节。但是逆向物流与正向物流的运作起始点完全相反,但前者绝不是后者的简单逆行,二者存在着很大的不同,具体体现在:

(1) 起终点数目。正向物流和逆向物流的最大不同在于起点和终点的数目不同。正向物流中,产品通常是由一个起点向多个目的地移动;逆向物流正好相反,产品由多个起点向一个目的地移动,这种区别直接影响了物流的管理运作。目前,外国跨国企业的配送中心都设有专门的退货处理中心(CRC-Centralized Return Centre),逆向物流流程上所有的产品都会被先送到这里,经过分类、处理后,再送到其最终的归属地。从理论上讲,如果能够将退货处理中心与配送中心(DC-Distribution Centre)合二为一,就可以共同使用仓储、运输及人力资源,最终将逆向物流与正向物流充分结合起来。但现实中,很多企业选择建立独立的逆向物流处理中心,即使与配送中心使用同一设施,也保持独立的两套操作系统。究其原因主要有两方面:首先是这样可以保持正、逆向物流操作系统各自的独立性,以避免同时满足共同作业日程安排的麻烦,而且如果配送中心与退货处理中心相距较远的话,合并运输所带来的运费节省也是有限的。第二个原因在于操作方面的困难,通常正向运输都是按一定的路线安排逐店送货,装车的时候也是按卸货顺序进行堆放,而如果在送货的同时回收退货的话,这些退货势必会挡住下一次即将送出的新货,而且退货也比较零散,比新货更难于装卸,这种运作会增加搬运的次数与难度,也消耗了时间。

(2) 不确定性强,预测难度大。由于逆向物流产生的随机性,使得企业很难确定产品的回收时间、地点及数量。但是逆向物流的终点是可以确定的。

典型的正向物流中,企业只需预测未来的市场需求,每一个作业环节都是基于对市场的预测或反应进行的,整个过程具有较强的可预测性。相比之下,逆向物流不具预测性,它是基于反应的,它通常不是公司计划或决策的结果,而是对消费者行为或下游成员行为的反应,因此,逆向物流具有更大的不确定性,预测难度也更大。对于回流产品的再加工过程,企业不仅要考虑消费者对这些产品的需求,同样要分析是否可以获得回流源,因为逆向物流是由最终个体消费者启动,而个人在决定是否退货时会受很多因素影响,因此企业无法知道他们会回收多少产品以及回收时产品的状态。

不过,对逆向物流的预测可以借助正向物流,因为通常情况下,逆向物流与正向物流相比总是有一个落后的时间差。比如,产品促销可以提高销售量,同时也会增加退货量,在做促销计划时,营销部门同时也会安排好相关的物流工作以确保满足销售畅通,对逆向物流而言,良好的计划同样可以使其受益,因此在促销的同时,



退货管理中心也应该同时做好相应的退货处置准备。

(3) 成本可视性。逆向物流与正向物流在实际运行操作中的不同最直接的体现就是在物流的管理成本上。正向物流中, 现行会计制度虽然没有明确的物流成本科目, 但是对同类产品的耗费都可以记入相应的科目中, 因此企业就能根据各项费用大致估算出总成本。对逆向物流而言, 退回商品(即使是同类)所涉及的成本内容广泛, 对于各种产品的价格与成本的核算标准也就不尽相同, 因此对于逆向物流的成本核算十分复杂且可控制性较弱。

二者在成本方面的区别还表现在各项费用占总成本的比重也不一样。正向物流中, 产品折扣占成本的比重较大, 产品折扣依订货量、订货频度不同而不同, 但逆向物流中, 最大的成本则在于从各零售商回收货物的运费上, 因为逆向物流难以实现运输规模经济, 也不适用“标准化搬运”。最麻烦的是, 由于包装破损后, 其上的条码或其它识别标识可能会受损导致难以辨认, 这会直接影响对各个零售商产品数量的计数, 为避免混乱, 有时会分别运送不同零售商的退货, 这在无形中又增加了运输成本。

逆向物流的处理成本也远远高于正向物流, 这体现在两方面: 一方面是由于小批量货物的单位处理成本要高于大批量货物, 另一方面则是由于逆向物流的处理还增加了处理流向决策这一环节。

(4) 产品与包装的质量<sup>[35][36]</sup>。从生产商运出的产品一般是具有完整包装的新产品, 而包装在中转过程中可以起到很好的保护作用, 也容易搬卸、堆叠和托盘集运。相比之下, 逆流产品的包装多数已经破损, 因此对退回产品的运输难度要远远大于对新产品的运输。新产品多是大宗运送, 可以整齐地堆叠在托盘中进行集运, 而对于小批量的退货运输则很难找到合适的托盘来实现集运, 结果就是一大堆杂乱不堪的散货堆放在车上, 难以有效实现经济运输; 而且由于退还商品多数包装已经破损, 在运转过程中, 产品也更容易受损。一方面因为包装被损坏, 如果在搬运中产品滑落, 就很容易损坏, 但正因为包装已经破损而无法实现堆叠运送, 产品也就更容易从托盘中滑落或罗列挤压。

完好包装的作用还在于对产品批号及数量的识别上。在正向物流中, 可以利用包装来实现条码、射频技术的应用; 而对退还的产品, 工作人员可能无法从包装上获取所需相关信息, 也就加大了拣货、存储的难度。

(5) 运输路径的明确性。被退还的产品运达退货处理中心后, 其进一步去向并不明确, 这一点与正向物流并无两样, 因为运抵配送中心的产品在没有接到订单之前也是处于暂时储存状态, 直到接到订单再进行送货。二者的不同之处在于送往目的地的决策方式不一样。正向产品几乎不需要运送地决策, 只是根据订单按客户要求来安排运送时间、地点即可, 甚至在有些情况下(订做或者对接运送), 在货物运抵配送中心的同时就已经知道了其即将运达的目的地。与正向物流不同, 管理人员需要花费相当长的时间来决定各种退货的去向(如前文所述), 还要考虑生产商

对于退还商品的处理的特殊规定,如在二级市场转卖的商品去除标识等,这些都使得在逆向物流中对于商品的处理选择众多,方向不明。

(6) 运送速度的重要性。正向物流中,迅速准确地按客户要求送货是至关重要的,客户极有可能因不满意所提供的服务而减少订货或干脆取消以后的所有订货。而逆向物流中,通常不存在事先订货,运送速度、时间往往都是由生产商决定,没有人会对这些事进行抱怨,这也是为什么大多数厂商并未给予退货处理予以足够重视的原因之一。需要指出的是,尽管退货的价值通常会低于新货,但如果处理及时,同样可以获得较高利润,但如果因为不重视,使其长时间滞留于处理中心,就有可能真正的使其贬值。这是因为,除了外观或者货物本身容易受损外(没有很好的包装),也有可能是使用价值的“缩水”。比如一些季节性或节日商品更新换代快,如果错过了最佳销售时机,产品就很难卖到理想的价格。

(7) 库存管理。正向物流中关于库存管理的理论研究很多,但是这些研究都是基于一定的假设基础之上的,而有些假设对逆向物流并不适用。比如库存管理中最常用的经济批量和再订货点法要求供给是确定的,不确定性主要是来自需求方面的,而且假定价格是已知的;而逆向物流中,供给具有很大的随意性,退货产品的销售价格也因处理方法不同具有较大差别,这些都证明了传统库存管理模型并不完全适用于逆向物流。

库存管理中另外一个不同在于会计报表的结算日期对库存量的影响上。由于企业大都不太重视退货的价值,通常抱有减价处理的心理,因此在每个季度末制作会计报表时,为减少库存,企业会将大量的退货卖出,即使低价销售在所不惜。

(8) 信息系统应用。与正向物流不同,几乎没有企业会对逆向物流进行物流过程的全程跟踪。由于企业通常对逆向物流不够重视,所以对信息系统的应用并没有普及到这一逆向流程中。研究表明:缺乏信息系统及对逆向物流的不重视已经成为逆向物流管理中最大的两个障碍。实际上,由于不能对逆向物流进行很好的全程跟踪,退货处理中心增加了制定处理计划和处置决策的难度。在退货处理中心同样应该配有相应的信息系统,对退回商品做必要的跟踪,包括存放在各零售店的即将运往处理中心的那些商品,这样,中心的管理人员就可以知道有多少品种和数量的产品即将被退回并可以据此提早做出处置计划。

## 2. 逆向物流与环保物流

为了实现经济长期、持续的发展,必须采取各种措施来节约自然资源,保护生态环境,走可持续发展之路。将可持续发展的原则应用于现代物流管理活动,从环境保护的角度对现代物流体系进行研究,形成一种与环境共生的综合物流系统。一方面要改变原来经济发展与物流之间的单向作用关系,抑制物流对环境造成危害;另一方面要能形成一种促进经济和消费健康发展的现代物流系统。这就产生了“环保物流”这一全新概念。

环保物流也称为绿色物流，是指以降低对环境的污染、减少资源消耗为目标，利用先进物流技术，规划和实施的运输、储存、包装、装卸、流通加工等物流活动。环保物流的行为主体主要是专业物流企业，同时也涉及有关生产企业和消费者<sup>[37]</sup>。

环保物流是可持续发展的重要环节，是一个多层次的概念。它既包括企业的绿色物流活动，又包括社会对绿色物流活动的管理、规范和控制。从其活动范围来看，它既包括各个单项的绿色物流作业如绿色运输、绿色包装、绿色流通加工等，又包括为实现资源再利用而进行的废弃物循环物流。

环保物流的目标不同于一般的物流活动。一般的物流活动主要是受经济利益所驱使，包括满足顾客需求、扩大市场占有率等。而环保物流除了追求经济利益外，还追求节约资源、保护环境这一兼具经济属性和社会属性的目标。从宏观角度和长远利益看，节约资源、保护环境与经济利益的目标是一致的，但从短期来看，对某一特定的物流企业却是矛盾的，这就需要政府出面进行调节。

逆向物流是环保物流的一个重要组成部分，两者既有联系又有区别。图 2-2 为逆向物流与环保物流的简单比较<sup>[38]</sup>。

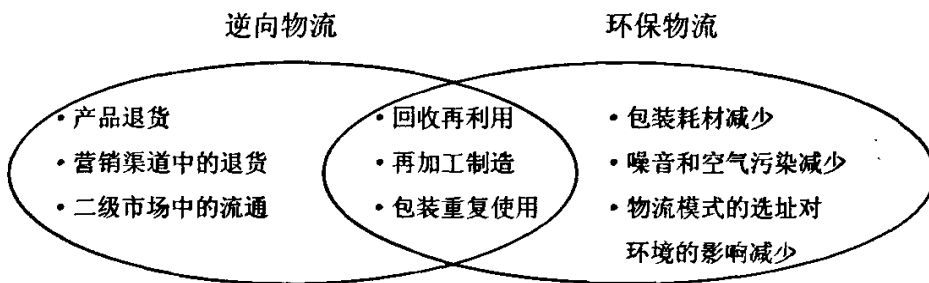


图 2-2 逆向物流与环保物流的简单比较

## 2.2 废旧家电逆向物流

### 2.2.1 废旧家电逆向物流概述

如今家电产品的使用越来越广泛，家电产品更新的速度也不断加快，相应地就会产生大量的电子废弃物，这些家电产品废弃物蕴藏着巨大的回收利用价值。通常家电产品本身及其大量电子元器件中，都含有多种贵金属，如果直接作为垃圾进行简单填埋或者焚烧处理，除大量有用元素得浪费以外，家电产品本身所含的多种重金属不慎泄漏，则会对环境造成严重污染，解决这些问题的一个有效途径就是对

这些电产品进行回收和再生利用,通过这一途径消除其对于环境的压力,同时获得二次资源,这就涉及到废旧家电逆向物流的问题。

所谓废旧家电逆向物流,也即我们俗称的废旧家电回收,是指以废旧家电产品的资源化利用和无害化处理为目的,对消费者使用后的废旧家电产品组织进行的收集、运输和储存活动。它侧重从科学的角度来对废旧家电的回流过程进行管理。

废旧家电的逆向物流主要包括废旧家电产品的再加工及报废两种情形。其内涵可以从废旧家电逆向物流的对象、流动目的和活动构成等方面来说明:从流动对象看,废旧家电逆向物流是淘汰或报废的废旧家电产品,从用户手中沿着供应链渠道或回收渠道的“反向”流动过程;从流动的目的看,废旧家电逆向物流是为了重新获得废弃家电产品或有缺陷家电产品的使用价值,或者对最终废弃物进行正确处置;从物流活动构成看,为实现逆向物流的目的,逆向物流应该包括对废旧家电产品的回收、分类、检验、拆卸、再生产及报废处理等活动。

回收废旧家电产品的处理策略包括产品降级重用、产品维修重用、部件翻新、零件再造、材料再生、焚烧获能和废弃处置(安全填埋)等<sup>[90]</sup>。

本文所称的废旧家电逆向物流体系,也即我们俗称的废旧家电回收利用,涵盖了废旧家电从回收到资源化再利用的全过程,包括回收—处理(分类、检验、拆卸)—再利用/报废处理等环节,它们环环相扣,形成一个完整的链条。

### 2.2.2 废旧家电逆向物流网络

废旧家电的回收和处理是一个多步骤的过程,涉及到废旧电器的收集、分类、运输、拆解、处理等多项物流活动,因此必须构建废旧家电逆向物流网络。回收产品可以按照其所处生命周期的不同阶段,分为商业回收、维修回收,使用结束回收和生命周期结束回收。废旧电器的回收应该属于生命周期结束产品回收的类别,许多研究者探讨了生命周期结束产品处置的逆向物流系统规划,把逆向物流系统分为收集、拆解、材料再生、最终处置等阶段。

逆向物流系统成员构成可以由传统物流中的制造商、零售商和物流服务商组成,也可以由一些特殊的团体构成,比如二手家电经销商。通常情况下,废旧家电形成的物流要回到最初的生产商处,这样就形成了一个闭环的系统。总体来说,由于正向系统和逆向系统的组成成员存在差异,所以有效地整合两者变得非常困难,甚至难以完成。由于网络并不是互相独立的,从某种程度上说,废旧家电逆向物流网络的构建在整个物流体系起着非常重要的作用。

废旧家电逆向物流具有诸多不确定因素。首先,废旧家电的来源是分散的,其起点具有不确定性。其次,逆向物流的废旧家电数量不确定性。逆向物流特有的不确定性和正向物流适时(Right time)适地(Right place)适质((Right quality)适

量(Right quantity)适价(Right price)的(5R)形成了鲜明的对比。

不同产品的逆向物流网络网络结构不同<sup>[45]</sup>。零部件和原材料的再利用一般具有开放结构，即逆向物流的终点并不返回到原来的制造商或供应商，而是被其他厂商重新利用。需要修理或翻新的逆向物流终点则通常指向其原先的起点来源，具有闭环结构。另外，逆向物流网络的结构也和其产品的回收价值高度相关。具有较高回收价值的产品可能值得付出较高的运输费用以运到为数不多的再处理中心进行深加工，这就具有较集中的网络结构。与此相反，回收利用价值不高的产品需要数量较多的再处理中心在当地进行简单处理以节省运费，这就具有较分散的网络结构。由此可看出，家电产品的种类繁多，将会导致较多类型网络结构的建立。

## 第三章 逆向物流网络研究

### 3.1 逆向物流网络分析

逆向物流系统网络结构的确定对逆向物流系统来说是一件极其重要的工作，因为它是形成系统的第一步，并且他们对其运作绩效起着决定性作用；确定逆向物流系统网络结构又是一项十分复杂的任务，这是由于逆向物流系统自身具有的特性所决定的。本章首先从逆向物流的结构特征出发，以不同的角度对逆向物流系统做了分类研究，然后从逆向物流网络着手，分析了逆向物流网络的构建环境、网络特征和网络的类型。

#### 3.1.1 逆向物流网络的结构

由于逆向物流活动主要是由正向物流活动的延续而来，因此在探讨逆向物流网络框架时必须同时考虑正向物流及逆向物流。企业逆向物流网络结构(如图 3-1)同时包含了正向与逆向物流的全程序流程。

(1) 原料供应商：指原物料供应厂商。在原物料的生产中，除了制造过程中必须使用的原料外，还可以采用再生物料、初级或次级再生物料，如再生的纸浆、金属等。

(2) 生产厂商：指生产或制造商品的厂商。生产原料可采用原物料、再生物料，或采用物料替代的方式，以达到源头削减甚至减少废料的目的。制造过程中采用可再用的工具或器械，生产过程剩余的废弃物或物料可以进行适当的资源回收，并在制造过程进行当中可以考虑资源复生的方式。

(3) 配送中心：可以用于进行二次包装和理货等作业，另外可以用于对退货进行处理分类，达到资源回收的目的。

(4) 消费者：商品消费大众在日常的生活中，采用正确的废弃物分类，甚至进行资源回收等活动，一方面可增加资源的复生效率，另一方面也可减少废弃物对于环境的冲击。

(5) 拆解中心：指为处理逆向物流活动(包括退货处理、维修等)所设置的专业设施。可进行废弃物分类，运用各种策略以达到资源回收的效果。拆解中心与配送中心分别在逆向物流网络系统和正向物流网络系统中处于节点位置，通过它们的位置和功能可看出，二者具有对应性和一定的相似性，但是两者也存在着区别。两个中心对物品所进行的操作是不一样的，配送中心的主要操作包括搬运、仓储、包装

等，而拆解中心的主要操作则是检测、处理决策、分拆、分类、销毁，还有就是将可直接销售的回收品进行包装。

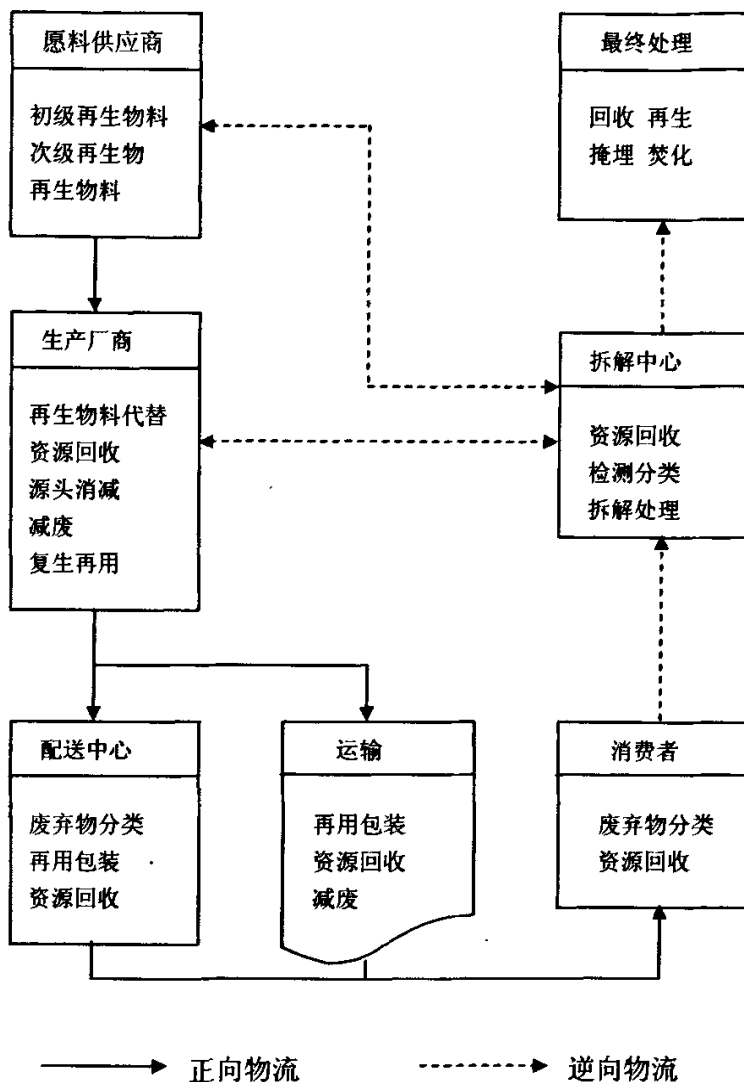


图 3-1 逆向物流网络结构图

(6) 运输：运输在物流作业中只扮演着物品移动及储存功能，在移动及储存的过程当中，可以采用再用包装、减废策略，并配合资源回收，以兼顾环保与经济效益。

(7) 最终处理：在废弃物处理的方式上，其中某些种类，可以通过回收或再生的方式来取得经济价值或效益；另外一些低价值的种类，可以采取适当掩埋或焚化的方式来处理。

### 3.1.2 逆向物流网络构建的环境和特征

#### 1. 逆向物流网络构建的环境

逆向物流环境可以从三个方面来构建：

(1) 产品特征：涉及到旧产品的物理属性和经济属性，产品，市场，资源。例如重量、数量、脆性、腐坏程度、经济价值以及过时率等。显然，每一方面都会对相应的物流网络布局有影响。此外，还应该注意回收方式，如直接再利用、再生产加工、材料回收等等。回收方式决定了所需要的设施、设备以及相关投资费用。由于产品特征的不同会导致不同的最终产品、不同的回收程序以及不同的再利用市场。与此同时，产品的一些附加属性，例如法律责任等也会影响到回收方式的选择。

(2) 市场特征：涉及到不同的市场角色和他们的相互关系。总的来说，有供应商、OEM、服务性供应商、独立的产品回收商、顾客以及政府。不同方之间的相互作用对最终的逆向物流系统结构和相应的逆向物流解决方案有着很大的影响。每一方都在享受权利的同时，选择了应尽的责任。逆向物流网络在从产品回收市场到再利用市场的范围内建立，再利用市场可能与原始产品市场一致也可能不一致，独立的产品回收商在再利用市场上的地位也是或弱或强。产品回收也可能由第三方外援来完成。

(3) 相关资源：包括回收网络设计中的回收设施、人力资源、运输资源等。本文主要研究回收网络中的设施，如回收中心、再加工制造厂。显然，相关资源从经济的角度直接影响网络结构的设计，一方面是投资成本，另一方面是网络集成程度产生的规模经济。

#### 2. 逆向物流网络构建的特征

(1) 集中程度：涉及到完成同种操作活动的地点数目。在集中网络中，同类型操作活动都尽量安排在同一地点完成，形成规模经济，节约人力物力，它是完成网络横向整合的有效措施，在一定意义上，集中程度代表了网络的幅度。

(2) 网络层数：物流顺次需要流经的设施数，表示了网络纵向深度。单层网络中，所有操作都在某一种设施中汇集；多层网络中，不同的操作会分别在不同的地点完成。

(3) 与其他网络的连接：主要是指产品回收网络与现存网络的关联程度。产品回收网络可能单独建立，也有可能是在原有网络基础上的扩建。

(4) 开放与闭合网络：对于一个闭合网络，回收产品会回到原制造商处经过加工后再次回到市场，许多 OEM 建立的再加工制造回收网络就是这样的，产品往往比较昂贵。而开放网络，物流从一端流进，从另一端流出，例如废纸回收网络。

(5) 合作程度：涉及到网络建设中的各方，逆向物流网络的构建也许发起人是某一个企业，但不可避免地会通过签订合同或联合的方式与其他企业合作，企业



利用第三方来开展逆向物流业务就是一种合作方式。

### 3.2 逆向物流网络的类型

根据回收物品种类及其回收处理方式的不同,会有不同的逆向物流网络结构,如可直接再利用逆向物流网络、再制造加工逆向物流网络、再循环逆向物流网络和商业退货逆向物流网络等。

#### 3.2.1 可直接再利用逆向物流网络

这类网络主要是回收可直接再利用的产品,如可再利用包装在闭合环状网路中,包装一旦回返到包装提供中心就可直接被再次利用。在整个过程中,时间是最大的不确定因素。如图 3-2 所示。

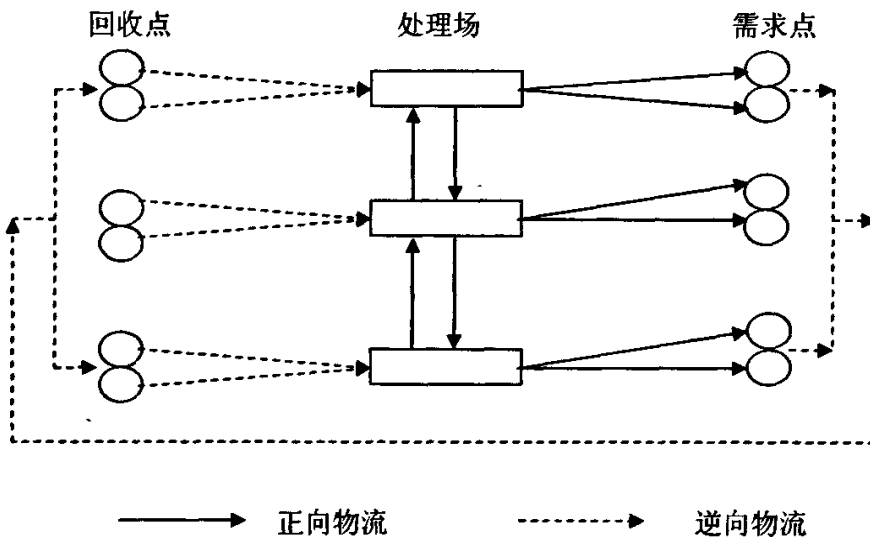


图 3-2 可直接再利用的逆向物流网络

可再利用物品只需要简单的再处理,如清洗、检查等,因此网络简单,层次少。此外,由于再利用和原始利用之间不存在区别,故闭合环状结构就很自然了,该网络多用于多种类型包装的回收。网络中决定回收品数量和防止损失是两个重要的问题。运输费用是主要的成本要素,因此该网络是分散型网络,联节点以靠近顾客群为原则来设置。

### 3.2.2 再制造加工逆向物流网络

典型的可再造物品包括飞机和汽车的发动机、机电设备、复印机和计算机部件等价值较高的产品，其主要驱动因素是对上述物品进行增值修复以获取经济效益。再制造需要产品生产的有关知识，因而通常由原始设备制造商 OEM 来完成。由于新产品加工和旧产品修复之间的密切关系，并且新产品和修复产品的销售市场可能重合，因而可以将再制造物流网和传统生产分销物流网进行集成，综合考虑两者的设施共用和运输合并。目前，再制造逆向物流网络大多是在已有正向物流网络基础上进行扩展，形成多级闭环物流网络，如图 3-3 所示。

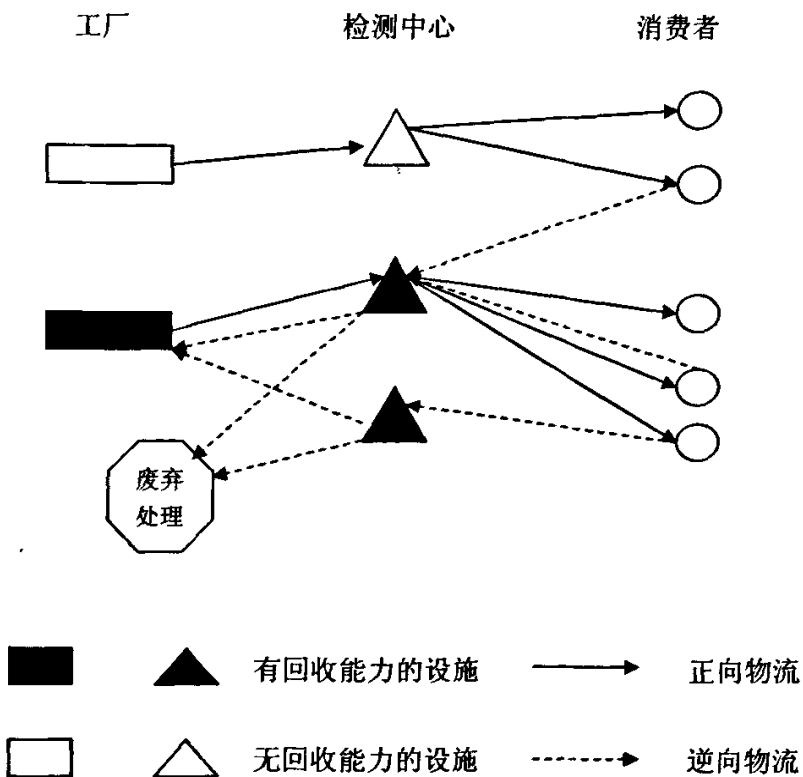


图 3-3 再制造加工逆向物流网络

### 3.2.3 再循环逆向物流网络

这种网络所处理的材料大多是低值产品，如纸张、塑料、沙、钢铁副产品。然而却要求先进的处理技术和设备，故投资费用很高，这就意味着该类型的网络需要大批量的处理，形成规模经济才会使得回收有意义、有价值；其次，再循环网络多

是集中网络结构；此外，网络构建的各责任方之间的紧密合作也是确保大规模、批量处理的保证。由于回收的方式有限以及材料再循环的技术可行性并不严格依赖于收集物的质量，故再循环网络模型很简单，层次不多。如图 3-4 所示。

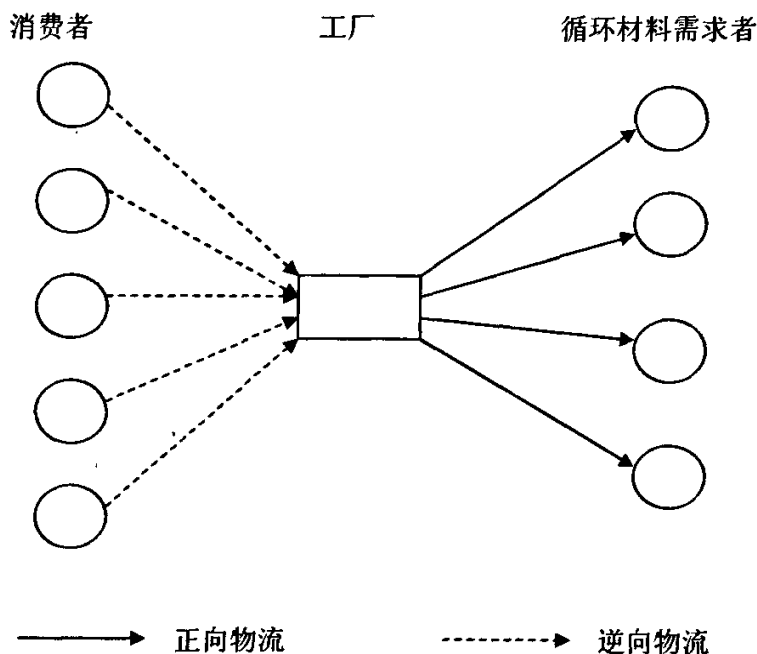


图 3-4 再循环逆向物流网络

### 3.2.4 商业退货逆向物流网络

商业退货主要发生在零售业到制造业，源于商业回收或客户投诉退货，如发错或有缺陷的商品、零售商的积压存货等。为了减少成本、降低库存和增加灵活性，可以在较大区域范围内设置一个分销中心，集中处理来自不同地区的退回商品。对退回的商品有多种处理方法可以选择：质量好的商品可以送回原商品库，进行再次销售；质量不好的商品，可以作为处理品销售；如果退回商品无法直接销售，或通过修复、改制可以显著增加商品售价，那么在出售前可以先完成上述操作，然后作为修复品或再制品进行销售；如果上述选择都无法进行，则对贵重的或可循环的材料进行回收，在以最低的成本对其进行废弃处理。商业退货逆向物流网络结构如图 3-5 所示。

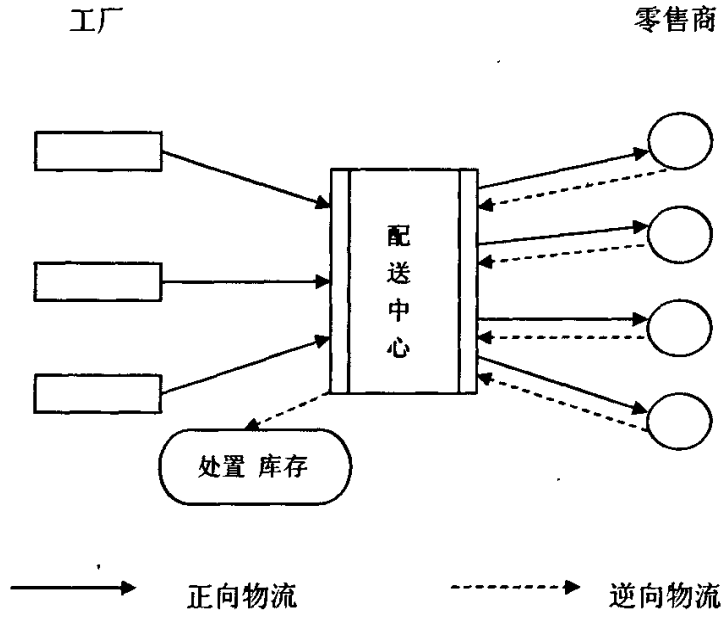


图 3-5 商业退货逆向物流网络

## 第四章 废旧家电逆向物流网络系统规划与模型的建立

### 4.1 废旧家电逆向物流网络系统规划

#### 4.1.1 废旧家电逆向物流网络系统的构成

逆向物流产品的种类不同,逆向物流系统的构成是不一样的<sup>[49]</sup>。对于一些可重新利用的包装、容器,例如玻璃瓶、塑料瓶、罐、箱和托盘等,只要进行简单的检测、清洗就可再次投入使用;对于可再制造的物品,比如汽车、航空发动机和复印机等,这些废旧物品经收集、检测、拆卸以及零部件更换等环节,再制造为新的产品,最后进行销售;对一些作为原材料回收的物品,比如纸张、玻璃和金属等,通过循环利用转换成新的产品。但是对于废旧家电逆向物流系统的构成要相对复杂一些,可能涉及到产品、零部件及原材料等各个层次的再利用,以及不能再利用部分的处置。

由于对废旧家电可以有多种处理方案,不同的处理方式,其逆向物流系统构成也不一样。有的国家,比如日本,其废旧家电的逆向物流主要是通过原材料回收而进行的,整个过程的机械化、自动化程度比较高,废旧家电收集后,经拆卸、粉碎再将各种成分分离出来作为原材料被再次使用,由于原材料的售价通常较低,因此此种废旧家电逆向物流系统的回收利用率是较低的。但是在日本,由于劳动力成本非常高,居民整体消费水平也比较高,二手产品市场不大,因此,对他们来说这也是一种较好的方法,但这种废旧家电逆向物流的方式是一种产品回收的低级形式。

以上这种废旧家电逆向物流的方式并不适合我国。首先,我国人均资源占有量比较低,而上述方法的回收利用率较低;其次,我国有丰富、廉价的劳动力资源,那么我们在废旧家电处理方面就应该发挥这种优势;再次,我国经济发展有较大的不平衡,人们的消费水平也存在较大的差别,二手家电产品有较大的市场。因此,我们可以采取更符合我国国情的废旧家电逆向物流方式,这样也更符合我国的可持续发展。首先可以对收集的废旧家电进行人工检测,随着产品更新换代的速度加快,有些被淘汰的家电在性能方面都还很好,对于这类产品我们可以对其进行包装后投放到二手市场,直接参与产品竞争;对于那些尚未达到报废标准,只要经过稍许修理,即可再次利用的产品,经过简单修理后也可以加以包装进入二手市场;对于其它的产品我们可以进行拆卸处理,对拆卸下来的零部件,经检测合格的可以直接投入生产使用,对其他不合格的作为原材料回收利用。对一些不能直接作为原材料利

用的，如电路板、阴极射线管需要进行专业的回收处理得到各种原材料；对于另一些无法有效再利用的部分，可进行无害化处置。因此，我国的废旧家电逆向物流系统的构成如图 4-1 所示。

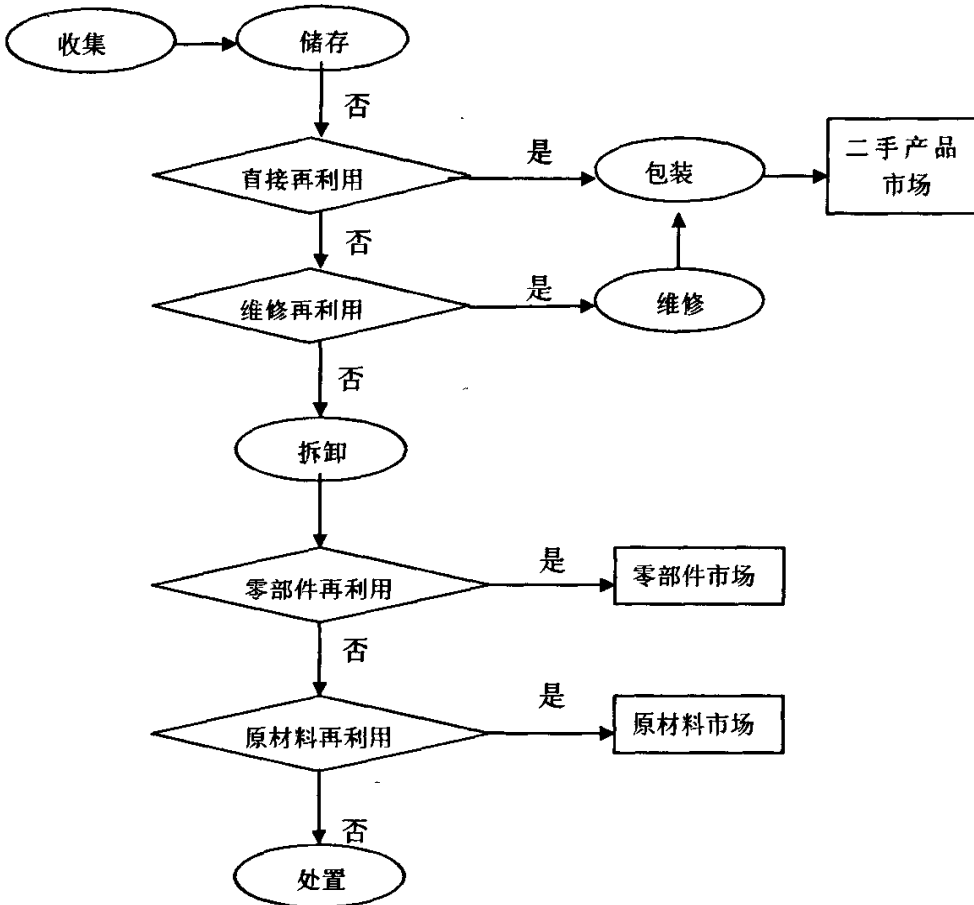


图 4-1 我国的废旧家电逆向物流系统的构成

#### 4.1.2 废旧家电逆向物流网络系统的功能

从以上废旧家电逆向物流系统的构成，我们可以知道废旧家电逆向物流系统主要有如下功能：

##### 1. 收集

收集是废旧家电逆向物流系统的始点。废旧家电的收集可以采取有偿或无偿的方式，根据我国国情，在我国现阶段的废旧家电收集是一种有偿收集。

## 2. 回收处理

回收处理是废旧家电逆向物流系统的主要功能，它又可以分为：

(1) 检测。检测是决定所收集的废旧家电是否可再利用和在哪一方面可再利用的所有活动。该环节通过对收集的废旧家电的功能进行测试分析，并根据产品结构特点以及产品和各零部件的性能确定可行的处理方案，包括直接再利用、维修再利用、零部件再利用、原材料再利用或处置等。

(2) 拆卸。拆卸是产品回收处理中的一个重要环节。拆卸就是按产品结构的特点将产品分拆成零部件。它是实现有效回收的重要手段，产品只有拆卸后才能实现零部件和原材料的再利用。产品的拆卸方式很多，应根据拆卸的目的，决定产品拆卸的类型，如部分拆卸或全部拆卸、破坏性拆卸或非破坏性拆卸。不同的回收策略决定了采用不同的拆卸方式。

(3) 再利用。对收集的产品或分拆后的零部件进行加工，恢复其价值。对于性能尚好的产品可以直接再利用；对于那些稍加维修即可再次利用的产品，我们可以将其进行维修后利用；其他的产品拆卸后，根据可利用状况决定是以零部件还是原材料的形式进行再利用。

## 3. 处置

处置是指由于技术或经济的原因，拆卸后的产品不能再利用时采取的方法，可通过填埋或焚烧等方式进行。但是随着回收技术的发展，需要处置的物品将越来越少，基本都能得到有效利用。

## 4. 销售

经过回收处理得到的产品、零部件以及原材料可以投入到市场进行销售。

废旧家电逆向物流除了具有以上功能外，还具有一般物流系统的运输、储存、搬运、包装等功能。同时，我们也可以看出，废旧家电逆向物流系统也和其他系统一样，具有“输入—转换—输出”功能，通过收集将废旧家电输入逆向物流系统，然后对收集的产品进行检测、拆卸、回收处理等各种转换，最后通过销售输出产品、零部件及原材料等。

### 4.1.3 废旧家电逆向物流网络系统的设计

废旧家电逆向物流系统的设计主要考虑收集点、回收中心、再制造工厂、废弃物处理中心和销售点等的数量与位置。在物流供应链管理中，逆向物流将会影响正向物流的生产计划、运输配送和库存策略等一系列决策。整合正向物流和逆向物流的一体化集成物流网络系统具有诱人的发展前景和极大的挑战性。

### 1. 收集点的设置

废旧家电逆向物流要顺利进行,首先,也是最直接的,就是将废旧家电从消费者那里收集起来,收集点的设置是逆向物流网络有效运行的基础,因此,建立一个完善的、分布广泛的收集网络,关系到废旧家电逆向物流的运行效率。由于我国家电已有了比较完善的销售网络,收集点可利用已有的销售点,这样的话,一方面可以使销售商承担一部分废旧家电逆向物流的责任,另一方面还可方便消费者,这是因为现在购买电器大都有送货上门的服务,这时便可将废旧家电带回销售点。并且由销售商进行收集也有利于对消费者进行激励,比如,实行以旧换新的活动。当然也可以根据实际情况新建一些回收点,比如在一些居民密集区,在这些地方设立收集点主要是为了方便消费者。也可由个体收集商采取上门收购的方式进行收集,收集到一定量时,送到指定的地点。

### 2. 回收中心的设置<sup>[44]</sup>

由于废旧家电来源地往往比较分散,尤其是很多家电产品分布在广阔的农村市场,不可能集中一次向接收点转移。根据逆向物流来源地的分布和产品特性,需要决策是建立分散的数量较多的回收站,还是集中的数量较少的回收站,或者是建立不同等级的回收站和回收中心。

对逆向物流的产品进行再处理是逆向物流网络的中心环节。回收处理中心的选址和规模是构建整个逆向物流网络的关键。选址需要考虑的因素有建设费用、处理费用和运输费用等,而处理中心的规模和能力需要根据预测逆向物流来源的数量而确定,并和建设费用密切相关。

### 3. 再制造工厂的设置

由于再制造工厂建设需要各种处理设备、设施,投资会比较大,因此,不宜多建回收处理工厂,工厂建立的数量通常是在综合考虑运输及投资等各种费用的情况下进行优化确定,而本文考虑的是在原来的制造工厂进行再制造。

### 4. 废弃物处理中心的设置

废弃物处理需要严格遵照相关产品的环保法规进行分散处理或集中处理。某些废弃物按照规定不得进行异地运输,只能在当地处理。在国家法规约束的基础上,废弃物处理同样需要考虑废弃设施的选址、规模和费用等一系列因素。

通过上述分析,相对传统的正向物流体系,废旧家电逆向物流网络设计具有自己的特点并涉及众多复杂的因素。构建最优化的废旧家电逆向物流网络,应该根据废旧家电产品的回收特性,并充分考虑各方面的因素,构建较好的废旧家电回收网络。本文考虑的是正向物流和逆向物流的一体化集成物流网络系统。



### 4.2 废旧家电逆向物流网络模型的建立

本节在上述对废旧家电产品逆向物流网络进行系统规划分析的基础上，主要对物流网络设施的选址决策进行研究。运用混合整数线性规划模型来实现逆向网络流量和基础设施设计的优化，试图使包含建立新设施的固定成本、操作成本、运输成本以及产品收益，再生材料收益在内的收益最大化。通过对集成物流网络的建模分析和运用 lingo8.0 软件对其进行的求解，确定网络中各个决策变量的取值，从而确定物流网络设施的数量和位置，构建起完整的集成物流网络。

#### 4.2.1 问题的描述

本文在此考虑建立一个将正向物流和逆向物流网络结合在一起的集成物流网络。该网络包括工厂(再制造工厂)、分销中心、回收中心(检测中心)、再生材料消费区域、产品消费区域、集成分销中心/回收中心、废弃物处理中心等。

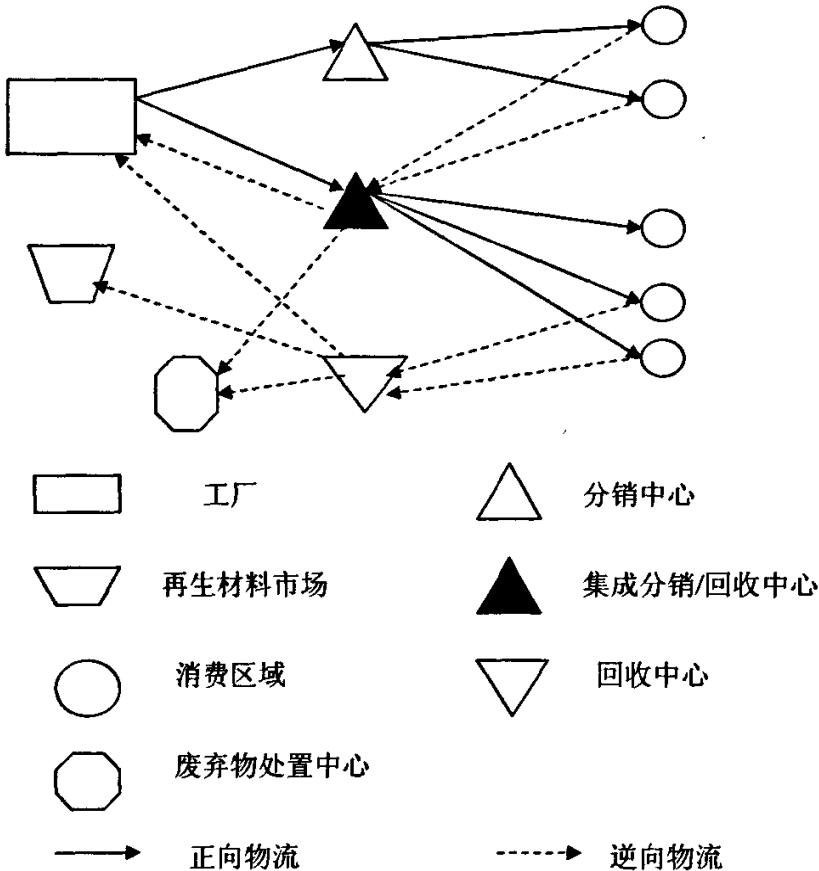


图 4-2 物流网络的结构示意图

工厂生产的新产品通过分销中心销售,消费者使用后的废旧产品经收集运往回收中心进行检测、拆卸、分类等处理,可以再利用的部分则运往工厂进行再制造,不可再利用部分则运往废弃物处理中心进行处理,回收的可再生材料则运往再生材料市场。当一个地区同时存在分销中心和回收中心的时候就是集成分销/回收中心。如图 4-2 所示。

物流网络的设计目标是在相关的约束条件下确定物流网络中各种设施的位置和数量,得到布局合理的物流网络,使物流网络的期望收益值达到最大。

#### 4.2.2 模型的假设

该模型的建立基于如下假设:

- (1) 仅考虑回收处理一种废旧产品,再生产品的功能与新产品相同;工厂可以进行新产品的生产和废旧产品的再制造,且已知单位再制造产品产生的收益。
- (2) 已知各种物流网络设施的处理能力,投资和运营成本以及设施间的运输成本等;已知材料回收率、废旧产品回收率和再制造工厂的可再制造率。
- (3) 按消费区域总计产品(包括新产品、再生材料)的需求量和废旧产品的数量,消费区域的划分已知;废旧产品的回收量的需求量是近似确定的。
- (4) 各种设施的选址仅在地理位置已知的一些备选地点中进行,包括工厂、分销中心、回收中心、废弃物处理点、再生材料市场等。
- (5) 单位数量产品单位距离的运输成本已知,产品的运输成本没有区别。
- (6) 物流设施之间的运输距离用直线距离来表示;运费与运输距离、运输量成线性关系。
- (7) 从消费区域回收的废旧产品首先运往回收中心,经过检测后的产品中,可以再制造的部分运回工厂进行再制造,可回收的材料运往再生材料市场,其他部分运往废弃物处置中心进行焚烧或填埋处理。

#### 4.2.3 符号的说明

为了便于建立数学模型进行分析,引入如下符号:

1. 下标

$f$ : 已开设工厂的地点,  $f \in \{1, 2, \dots, F\}$ ;

$g$ : 备选工厂的开设地点,  $g \in \{1, 2, \dots, G\}$ ;

$i$ : 已开设分销中心的地点,  $i \in \{1, 2, \dots, I\}$ ;

$j$ : 备选分销中心的开设地点,  $j \in \{1, 2, \dots, J\}$ ;

$h$ : 备选回收中心的开设地点,  $h \in \{1, 2, \dots, H\}$ ;

$s$ : 已有废弃物处置中心的开设地点,  $s \in \{1, 2, \dots, S\}$ ;

$t$ : 备选地废弃物处置中心的开设地点,  $t \in \{1, 2, \dots, T\}$ ;

$e$ : 再生材料市场的位置,  $e \in \{1, 2, \dots, E\}$ ;

$k$ : 产品(制造/再制造产品)的消费区域,  $k \in \{1, 2, \dots, K\}$ ;

## 2. 模型参数

$c_g^1$ : 在备选地  $g$  开设工厂的固定成本;

$c_j^2$ : 在备选地  $j$  开设分销中心的固定成本;

$c_h^3$ : 在备选地  $h$  开设回收中心的固定成本;

$c_t^4$ : 在备选地  $t$  开设废弃物处置中心的固定成本;

$d_{fi}^1$ : 已有工厂  $f$  到已有分销中心  $i$  的距离;

$d_{fj}^2$ : 已有工厂  $f$  到备选分销中心  $j$  的距离;

$d_{gi}^3$ : 备选工厂  $g$  到已有分销中心  $i$  的距离;

$d_{gj}^4$ : 备选工厂  $g$  到备选分销中心  $j$  的距离;

$d_{ik}^5$ : 已有分销中心  $i$  到消费区域  $k$  的距离;

$d_{jk}^6$ : 备选分销中心  $j$  到消费区域  $k$  的距离;

$d_{hk}^7$ : 消费区域  $k$  到回收中心  $h$  的距离;

$d_{hf}^8$ : 由回收中心  $h$  运往已有工厂  $f$  的距离;

$d_{hg}^9$ : 由回收中心  $h$  运往备选工厂  $g$  的距离;

$d_{hs}^{10}$ : 回收中心  $h$  到已有废弃物处置中心  $s$  的距离;

$d_{ht}^{11}$ : 回收中心  $h$  到备选废弃物处置中心  $t$  的距离;

$d_{he}^{12}$ : 由回收中心  $h$  到再生材料市场  $e$  的距离;

$n_k$ : 消费区域  $k$  每年(新)产品需求量;

- $v_f^1$ : 工厂  $f$  的单位产品的生产成本;
- $v_g^2$ : 工厂  $g$  的单位产品的生产成本;
- $v_i^3$ : 分销中心  $i$  单位产品的操作成本;
- $v_j^4$ : 分销中心  $j$  单位产品的操作成本;
- $v_h^5$ : 回收中心  $h$  处理废旧产品的单位成本;
- $v_s^6$ : 在废弃物处理中心  $s$  的单位废旧产品的处理成本;
- $v_t^7$ : 在废弃物处理中心  $t$  的单位废旧产品的处理成本;
- $v_k^8$ : 消费区域  $k$  的单位新产品的出售价格;
- $w_1$ : 再制造工厂的可再制造率;
- $w_2$ : 产品材料的回收率;
- $w_3$ : 废旧产品的回收率;
- $a$ : 产品单位距离单位质量运输成本;
- $n$ : 运往消费区域的产品数量;
- $B$ : 单位产品的材料回收收益;
- $L$ : 单位再制造产品的收益;
- $R$ : 单位产品的重量;
- $A_f^1$ : 已有工厂  $f$  每年的最大生产能力;
- $A_g^2$ : 备选工厂  $g$  每年的最大生产能力;
- $A_i^3$ : 已有分销中心  $i$  每年的最大处理能力;
- $A_j^4$ : 备选分销中心  $j$  每年的最大处理能力;
- $A_h^5$ : 回收中心  $h$  每年的最大处理能力;
- $A_s^6$ : 已有废弃物处置中心  $s$  每年的最大处理能力;
- $A_t^7$ : 备选废弃物处置中心  $t$  每年的最大处理能力;

### 3. 模型变量

$\alpha_g$ : 0-1 变量, 表示是否在  $g$  地开设新的工厂, 是取 1, 否取 0;

$\beta_j$ : 0-1 变量, 表示是否在  $j$  地开设新的分销中心, 是取 1, 否取 0;

$\chi_h$ : 0-1 变量, 表示是否在  $h$  地开设回收中心, 是取 1, 否取 0;

$\delta_t$ : 0-1 变量, 表示是否在  $t$  地开设废弃物处置中心, 是取 1, 否取 0;

$x_{fg}^1$ : 由已有工厂  $f$  运往已有分销中心  $i$  的产品数量;

$x_{fg}^2$ : 由已有工厂  $f$  运往备选分销中心  $j$  的产品数量;

$x_{gi}^3$ : 由备选工厂  $g$  运往已有分销中心  $i$  的产品数量;

$x_{gj}^4$ : 由备选工厂  $g$  运往备选分销中心  $j$  的产品数量;

$y_{ik}^1$ : 由已有分销中心  $i$  运往消费区域  $k$  的产品数量;

$y_{jk}^2$ : 由备选分销中心  $j$  运往消费区域  $k$  的产品数量;

$z_{kh}$ : 由消费区域  $k$  运往回收中心  $h$  的所收集废旧产品数量;

$p_{hf}^1$ : 由回收中心  $h$  运往已有工厂  $f$  的废旧产品数量;

$p_{hg}^2$ : 由回收中心  $h$  运往备选工厂  $g$  的废旧产品数量;

$q_{hs}^1$ : 由回收中心  $h$  运往已有废弃物处置中心  $s$  的废旧产品数量;

$q_{ht}^2$ : 由回收中心  $h$  运往备选废弃物处置中心  $t$  的废旧产品数量;

$r_{he}$ : 由回收中心  $h$  运往再生材料市场  $e$  的废旧产品数量。

#### 4.2.4 模型的建立

通过以上对集成物流网络的分析, 建立如下的混合整数线性规划模型, 以集成物流网络的期望收益最大化作为目标。

$$f(c) = \max[\varphi(t) - \varphi(\alpha, \beta, \chi, \delta) - \varphi(x, z, q) - \varphi(x, y, z, p, q)] \quad (4.1)$$

(1) 销售及回收收益  $\varphi(t)$ 

$$\varphi(t) = \sum_{k=1}^K v_k^8 \left( \sum_{i=1}^I y_{ik}^1 + \sum_{j=1}^J y_{jk}^2 \right) + L \left( \sum_{h=1}^H \sum_{f=1}^F p_{hf}^1 + \sum_{h=1}^H \sum_{g=1}^G p_{hg}^2 \right) + B \sum_{h=1}^H \sum_{e=1}^E r_{he}$$

其中,

$$\text{产品的销售收入: } \sum_{k=1}^K v_k^8 \left( \sum_{i=1}^I y_{ik}^1 + \sum_{j=1}^J y_{jk}^2 \right)$$

$$\text{再制造产品的收益: } L \left( \sum_{h=1}^H \sum_{f=1}^F p_{hf}^1 + \sum_{h=1}^H \sum_{g=1}^G p_{hg}^2 \right)$$

$$\text{材料回收收益: } B \sum_{h=1}^H \sum_{e=1}^E r_{he}, \text{ 其中 } r_{he} = \frac{w_2}{w_1} \left( \sum_{h=1}^H \sum_{f=1}^F p_{hf}^1 + \sum_{h=1}^H \sum_{g=1}^G p_{hg}^2 \right)$$

(2) 设施的固定投资  $\varphi(\alpha, \beta, \chi, \delta)$ 

$$\varphi(\alpha, \beta, \chi, \delta) = \sum_{g=1}^G c_g^1 \alpha_g + \sum_{j=1}^J c_j^2 \beta_j + \sum_{h=1}^H c_h^3 \chi_h + \sum_{i=1}^T c_i^4 \delta_i$$

其中,

$$\text{在备选地 } g \text{ 开设工厂的固定成本: } \sum_{g=1}^G c_g^1 \alpha_g$$

$$\text{在备选地 } j \text{ 开设分销中心的固定成本: } \sum_{j=1}^J c_j^2 \beta_j$$

$$\text{在备选地 } h \text{ 开设回收中心的固定成本: } \sum_{h=1}^H c_h^3 \chi_h$$

$$\text{在备选地 } t \text{ 开设废弃物处置中心的固定成本: } \sum_{i=1}^T c_i^4 \delta_i$$

(3) 操作总成本  $\varphi(x, z, q)$ 

$$\varphi(x, z, q) = \sum_{f=1}^F \sum_{i=1}^I x_{fi}^1 v_i^1 + \sum_{f=1}^F \sum_{j=1}^J x_{fj}^2 v_j^1 + \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^I x_{gi}^3 v_g^2 + \sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J x_{gj}^4 v_g^2 + \sum_{f=1}^F \sum_{i=1}^I x_{fi}^1 v_i^3 +$$

$$\sum_{f=1}^F \sum_{j=1}^J x_{fj}^2 v_j^4 + \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^I x_{gi}^3 v_i^3 + \sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J x_{gj}^4 v_j^4 + \sum_{k=1}^K \sum_{h=1}^H z_{kh} v_h^5 + \sum_{h=1}^H \sum_{s=1}^S q_{hs}^1 v_s^6 + \sum_{h=1}^H \sum_{t=1}^T q_{ht}^2 v_t^7$$

其中,

$$\text{工厂产品的生产成本: } \sum_{f=1}^F \sum_{i=1}^I x_{fi}^1 v_f^1 + \sum_{f=1}^F \sum_{j=1}^J x_{fj}^2 v_f^2 + \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^I x_{gi}^3 v_g^3 + \sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J x_{gj}^4 v_g^4$$

$$\text{分销中心的操作成本: } \sum_{f=1}^F \sum_{i=1}^I x_{fi}^1 v_i^3 + \sum_{f=1}^F \sum_{j=1}^J x_{fj}^2 v_j^4 + \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^I x_{gi}^3 v_i^3 + \sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J x_{gj}^4 v_j^4$$

$$\text{回收中心处理废旧产品的操作成本: } \sum_{k=1}^K \sum_{h=1}^H z_{kh} v_h^5$$

$$\text{废弃物处置中心的废旧产品的操作成本: } \sum_{h=1}^H \sum_{s=1}^S q_{hs}^1 v_s^6 + \sum_{h=1}^H \sum_{t=1}^T q_{ht}^2 v_t^7$$

(4) 运输费用  $\varphi(x, y, z, p, q)$

$$\begin{aligned} \varphi(x, y, z, p, q) = & aR \left( \sum_{f=1}^F \sum_{i=1}^I x_{fi}^1 d_{fi}^1 + \sum_{f=1}^F \sum_{j=1}^J x_{fj}^2 d_{fj}^2 + \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^I x_{gi}^3 d_{gi}^3 + \sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J x_{gj}^4 d_{gj}^4 \right) + \\ & aR \left( \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K y_{ik}^1 d_{ik}^5 + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K y_{jk}^2 d_{jk}^6 \right) + aR \sum_{k=1}^K \sum_{h=1}^H z_{kh} d_{kh}^7 + aR \left( \sum_{h=1}^H \sum_{f=1}^F p_{hf}^1 d_{hf}^8 + \sum_{h=1}^H \sum_{g=1}^G p_{hg}^2 d_{hg}^9 \right) + \\ & aR \left( \sum_{h=1}^H \sum_{s=1}^S q_{hs}^1 d_{hs}^{10} + \sum_{h=1}^H \sum_{t=1}^T q_{ht}^2 d_{ht}^{11} \right) + aR \sum_{h=1}^H \sum_{e=1}^E r_{he} d_{he}^{12} \end{aligned}$$

其中,

产品由工厂到分销中心的运输费用:

$$aR \left( \sum_{f=1}^F \sum_{i=1}^I x_{fi}^1 d_{fi}^1 + \sum_{f=1}^F \sum_{j=1}^J x_{fj}^2 d_{fj}^2 + \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^I x_{gi}^3 d_{gi}^3 + \sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J x_{gj}^4 d_{gj}^4 \right)$$

产品由分销中心到消费区域的运输费用:  $aR \left( \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K y_{ik}^1 d_{ik}^5 + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K y_{jk}^2 d_{jk}^6 \right)$

废旧产品由消费区域到回收中心的运输费用:  $aR \sum_{k=1}^K \sum_{h=1}^H z_{kh} d_{kh}^7$

废旧产品由回收中心到工厂的运输费用:  $aR \left( \sum_{h=1}^H \sum_{f=1}^F p_{hf}^1 d_{hf}^8 + \sum_{h=1}^H \sum_{g=1}^G p_{hg}^2 d_{hg}^9 \right)$

废旧产品由回收中心到废弃物处理中心的运输费用:  $aR \left( \sum_{h=1}^H \sum_{s=1}^S q_{hs}^1 d_{hs}^{10} + \sum_{h=1}^H \sum_{t=1}^T q_{ht}^2 d_{ht}^{11} \right)$

废旧产品由回收中心到再生材料市场的运输费用:

$$aR \sum_{h=1}^H \sum_{e=1}^E r_{he} d_{he}^{12}, \text{ 其中 } r_{he} = \frac{w_2}{w_1} \left( \sum_{h=1}^H \sum_{f=1}^F p_{hf}^1 + \sum_{h=1}^H \sum_{g=1}^G p_{hg}^2 \right)$$

(5) 约束条件

s.t.

$$\alpha_s, \beta_j, \chi_h, \delta_t \in \{0, 1\}; \quad (4.2)$$

$$\sum_{i=1}^I x_{fi} + \sum_{j=1}^J x_{fj} \leq A_f \quad (f=1,2,\dots,F) \quad (4.3)$$

$$\sum_{i=1}^I x_{gi} + \sum_{j=1}^J x_{gj} \leq A_g \alpha_s \quad (g=1,2,\dots,G) \quad (4.4)$$

$$\sum_{k=1}^K y_{ik} \leq A_i \quad (i=1,2,\dots,I) \quad (4.5)$$

$$\sum_{k=1}^K y_{jk} \leq A_j \beta_j \quad (j=1,2,\dots,J) \quad (4.6)$$

$$\sum_{k=1}^K z_{kh} \leq A_h \chi_h \quad (h=1,2,\dots,H) \quad (4.7)$$

$$\sum_{h=1}^H q_{hs} \leq A_s \quad (s=1,2,\dots,S) \quad (4.8)$$

$$\sum_{h=1}^H q_{ht} \leq A_t \delta_t \quad (t=1,2,\dots,T) \quad (4.9)$$

$$\sum_{i=1}^I y_{ik} + \sum_{j=1}^J y_{jk} \leq n_k \quad (k=1,2,\dots,K) \quad (4.10)$$

$$\sum_{h=1}^H z_{kh} \leq w_3 n_k \quad (k=1,2,\dots,K) \quad (4.11)$$

$$\sum_{k=1}^K y_{ik} = \sum_{f=1}^F x_{fi} + \sum_{g=1}^G x_{gi} \quad (i=1,2,\dots,I) \quad (4.12)$$

$$\sum_{k=1}^K y_{jk} = \sum_{f=1}^F x_{fj} + \sum_{g=1}^G x_{gj} \quad (j=1,2,\dots,J) \quad (4.13)$$



$$w_1 \sum_{k=1}^K z_{kh} = \left( \sum_{f=1}^F p_{hf} + \sum_{g=1}^G p_{hg} \right) \quad (h=1,2,\dots,H) \quad (4.14)$$

$$\sum_{h=1}^H q_{hs} + \sum_{h=1}^H q_{hr} = (1 - w_1 - w_2) \sum_{k=1}^K z_{kh} \quad (h=1,2,\dots,H) \quad (4.15)$$

且所有变量都为不小于零的整数值。

其中，目标函数(4.1)表示该物流网络的净收益最大；约束式(4.2)规定了参数为 0-1 变量，约束式(4.3)一(4.11)表示工厂、分销中心、回收中心、废弃物处置中心、消费区域等网络设施的处理量不大于其最大服务能力；约束式(4.12)一(4.15)表示了分销中心、消费区域、回收中心的物流量守恒。

上述建立的模型为混合整数线性规划(MILP, Mixed Integer linear Programming)模型，该模型可以用 LINGOS.0 软件进行求解。从而可以确定物流网络设施的数量及位置，得到布局合理的物流网络。

## 第五章 废旧家电逆向物流网络模型的应用

### 5.1 实例分析

#### 5.1.1 物流网络基本情况及设施选址

某地区一个生产冰箱的厂家要制定该厂某一冰箱产品的逆向物流网络，根据交通运输情况和该地区的产品消费及产品报废情况，将该地区划分为 17 个区域，各区域之间的距离如表 5-1 所示。

表 5-1 各区域之间的公路距离（单位：公里）

$\begin{matrix} a \\ \diagdown \\ b \end{matrix}$	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17
D1	0																
D2	169	0															
D3	132	301	0														
D4	110	58	240	0													
D5	310	145	442	203	0												
D6	140	309	120	250	450	0											
D7	190	360	270	300	500	150	0										
D8	140	310	60	250	450	180	330	0									
D9	325	490	270	435	635	160	230	330	0								
D10	151	160	280	260	310	291	335	275	540	0							
D11	240	180	375	120	150	380	375	380	605	315	0						
D12	315	195	450	180	135	480	475	455	705	355	104	0					
D13	260	92	390	150	53	405	450	400	585	250	140	110	0				
D14	79	248	210	185	390	205	190	219	400	230	160	260	339	0			
D15	208	380	70	318	510	170	280	130	193	350	440	520	470	287	0		
D16	66	220	66	175	376	155	306	136	335	217	306	380	325	145	142	0	
D17	253	405	205	360	560	55	65	235	145	395	440	540	510	240	210	280	0

分析各个候选地的各种因素，初步确定各种设施的备选地点。然后采用前面提出的建模方法来确定各个设施的数目和具体位置。该公司的冰箱在各个地区每年的需求量如表 5-2 所示。

表 5-2 该公司的冰箱在各个地区每年的需求量（单位：台）

城市	需求量	城市	需求量
D1	3700	D10	3580
D2	2870	D11	6700
D3	1830	D12	4420
D4	1750	D13	4910
D5	1660	D14	5500
D6	580	D15	2250
D7	5080	D16	3700
D8	1000	D17	1300
D9	1230		

该公司目前已有工厂设在 D1，生产能力  $A_1^1=200000$  件/年，单位产品的生产成本  $v_1^1=2000$  元；

已有分销中心设在 D1, D2, D3, D7，各分销中心的处理能力  $A_1^3 = A_2^3 = A_3^3 = A_7^3 = 30000$  件/年，单位产品的操作成本  $v_1^3 = v_2^3 = v_3^3 = v_7^3 = 10$  元/件；

已有废弃物处置中心位于 D1, D9，最大处理量  $A_1^6 = A_9^6 = 1500$  吨/年 (2500 件/年)，单位废旧产品的处理成本  $v_1^6 = v_9^6 = 80$  元/吨 (4.8 元/件)；

已有再生材料市场区域位于 D8。

通过分析各个候选地的各种因素，做出如下安排：

将 D2, D7 作为备选工厂；

将 D11, D12, D15, D17 作为备选分销中心；

将 D1, D2, D3, D7, D9, D11, D12, D13, D15, D17 作为备选回收中心；

将 D3, D5 作为备选废弃物处置中心；

物流网络结构示意图如图 5-1 所示。

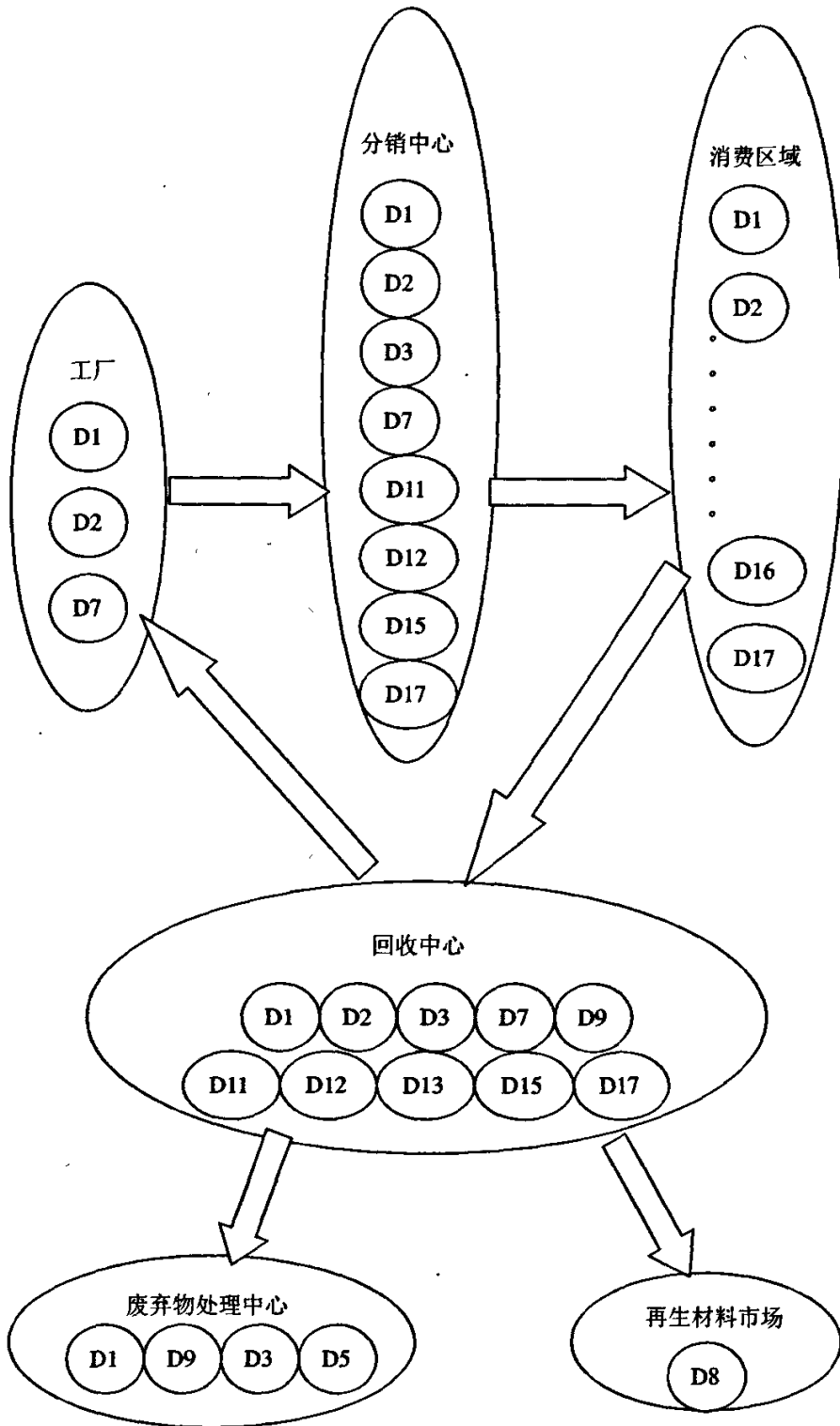


图 5-1 物流网络结构示意图

### 5.1.2 基础数据收集及整理

#### 1. 产品及材料售价

根据产品市场情况和材料市场情况,确定产品的售价及再生材料的售价。产品的售价为  $v_k^8=2400$  元/件,其中  $k=1,2,3,\dots,16,17$ ; 单位再制造产品的收益为  $L=200$  元,冰箱的重量为  $R=60\text{kg}$ ; 材料的售价如表 5-3 所示。

表 5-3 产品材料组成及售价

材料	大约所占比例(重量)%	售价(元/千克)
钢铁	49.00	1.2
铜	3.5	20.0
铝	2.2	14.5
塑料	43.3	1.9
其它	2.0	6.0

由以上数据可知一件产品可再利用材料回收收益为

$$B=40\% \times (60 \times 49\% \times 1.2 + 60 \times 3.5\% \times 20.0 + 60 \times 2.2\% \times 14.5 + 60 \times 43.3\% \times 1.9 + 60 \times 2.0\% \times 6.0) = 61 \text{ 元}$$

#### 2. 各个设施固定成本及其生产能力(容量)

参照发达国家及台湾地区的回收设施的相关数据及补贴标准<sup>[46]</sup>,确定该物流网络中各个设施的固定投资成本和变动的运营成本。

(1) 新建工厂的固定投资  $c_2^1 = c_7^1 = 1000000$  元,工厂的生产能力  $A_2^2 = A_7^2 = 200000$  件/年,单位产品的生产成本  $v_2^2 = v_7^2 = 2000$  元;

(2) 新建分销中心的固定投资  $c_{11}^2 = c_{12}^2 = c_{15}^2 = c_{17}^2 = 100000$  元,处理能力  $A_{11}^4 = A_{12}^4 = A_{15}^4 = A_{17}^4 = 30000$  件/年,单位产品的操作成本  $v_{11}^4 = v_{12}^4 = v_{15}^4 = v_{17}^4 = 10$  元/件;

(3) 新建回收中心的固定投资  $c_1^3 = c_2^3 = c_3^3 = c_7^3 = c_9^3 = c_{11}^3 = c_{12}^3 = c_{13}^3 = c_{15}^3 = c_{17}^3 = 100000$  元,处理能力  $A_1^5 = A_2^5 = A_3^5 = A_7^5 = A_9^5 = A_{11}^5 = A_{12}^5 = A_{13}^5 = A_{15}^5 = A_{17}^5 = 30000$  件/年,处理废旧产品的单位成本  $v_1^5 = v_2^5 = v_3^5 = v_7^5 = v_9^5 = v_{11}^5 = v_{12}^5 = v_{13}^5 = v_{15}^5 = v_{17}^5 = 20$  元/件;

(4) 新建废弃物处置中心的费用  $c_3^4 = c_3^4 = 200000$  元, 最大处理量  $A_3^7 = A_3^7 = 1500$  吨/年(2500 件/年), 单位废旧产品的处理成本  $v_3^7 = v_3^7 = 80$  元/吨(4.8 元/件);

(5) 采用重型卡车进行运输, 卡车的装载容量为 15 吨, 单位距离单位质量的运输成本(运输费率)  $a = 0.3$  元/吨公里;

(6) 工厂的最大可制造率为  $w_1 = 40\%$ , 产品材料回收率为  $w_2 = 40\%$ , 废旧产品回收率为  $w_3 = 60\%$ 。

## 5.2 实例建模及求解

### 5.2.1 实例模型的建立

将实例分析的数据代入上章 4.2.4 中的废旧家电逆向物流网络模型

$$f(c) = \max[\varphi(t) - \varphi(\alpha, \beta, \chi, \delta) - \varphi(x, z, q) - \varphi(x, y, z, p, q)]$$

(1) 销售及回收收益  $\varphi(t)$

$$\varphi(t) = \sum_{k=1}^K v_k^8 \left( \sum_{i=1}^I y_{ik}^1 + \sum_{j=1}^J y_{jk}^2 \right) + L \left( \sum_{h=1}^H \sum_{f=1}^F p_{hf}^1 + \sum_{h=1}^H \sum_{g=1}^G p_{hg}^2 \right) + B \sum_{h=1}^H \sum_{c=1}^E r_{hc}$$

其中,

产品的销售收入:

$$\sum_{k=1}^K v_k^9 \left( \sum_{i=1}^I y_{ik}^1 + \sum_{j=1}^J y_{jk}^2 \right)$$

$$\begin{aligned} = & 2400 \times 17 \times (y_{11}^1 + y_{21}^1 + y_{31}^1 + y_{71}^1 + y_{11,1}^2 + y_{12,1}^2 + y_{15,1}^2 + y_{17,1}^2 + y_{12}^1 + y_{22}^1 + y_{32}^1 + y_{72}^1 + y_{11,2}^2 + y_{12,1}^2 + \\ & y_{15,2}^2 + y_{17,2}^2 + y_{13}^1 + y_{23}^1 + y_{33}^1 + y_{73}^1 + y_{11,3}^2 + y_{12,3}^2 + y_{15,3}^2 + y_{17,3}^2 + y_{14}^1 + y_{24}^1 + y_{34}^1 + y_{74}^1 + y_{11,4}^2 + y_{12,4}^2 + \\ & y_{15,4}^2 + y_{17,4}^2 + y_{15}^1 + y_{25}^1 + y_{35}^1 + y_{75}^1 + y_{11,5}^2 + y_{12,5}^2 + y_{15,5}^2 + y_{17,5}^2 + y_{16}^1 + y_{26}^1 + y_{36}^1 + y_{76}^1 + y_{11,6}^2 + y_{12,6}^2 + \\ & y_{15,6}^2 + y_{17,6}^2 + y_{17}^1 + y_{27}^1 + y_{37}^1 + y_{77}^1 + y_{11,7}^2 + y_{12,7}^2 + y_{15,7}^2 + y_{17,7}^2 + y_{18}^1 + y_{28}^1 + y_{38}^1 + y_{78}^1 + y_{11,8}^2 + y_{12,8}^2 + \\ & y_{15,8}^2 + y_{17,8}^2 + y_{19}^1 + y_{29}^1 + y_{39}^1 + y_{79}^1 + y_{11,9}^2 + y_{12,9}^2 + y_{15,9}^2 + y_{17,9}^2 + y_{1,10}^1 + y_{2,10}^1 + y_{3,10}^1 + y_{7,10}^1 + y_{11,10}^2 + \\ & y_{12,10}^2 + y_{15,10}^2 + y_{17,10}^2 + y_{1,11}^1 + y_{2,11}^1 + y_{3,11}^1 + y_{7,11}^1 + y_{11,11}^2 + y_{12,11}^2 + y_{15,11}^2 + y_{17,11}^2 + y_{1,12}^1 + y_{2,12}^1 + y_{3,12}^1 + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& y_{7,12}^1 + y_{11,12}^2 + y_{12,12}^2 + y_{15,12}^2 + y_{17,12}^2 + y_{1,13}^1 + y_{2,13}^1 + y_{3,13}^1 + y_{7,13}^1 + y_{11,13}^2 + y_{12,13}^2 + y_{15,13}^2 + y_{17,13}^2 + y_{1,14}^1 \\
& + y_{2,14}^1 + y_{3,14}^1 + y_{7,14}^1 + y_{11,14}^2 + y_{12,14}^2 + y_{15,14}^2 + y_{17,14}^2 + y_{1,15}^1 + y_{2,15}^1 + y_{3,15}^1 + y_{7,15}^1 + y_{11,15}^2 + y_{12,15}^2 + y_{15,15}^2 \\
& + y_{17,15}^2 + y_{1,16}^1 + y_{2,16}^1 + y_{3,16}^1 + y_{7,16}^1 + y_{11,16}^2 + y_{12,16}^2 + y_{15,16}^2 + y_{17,16}^2 + y_{1,17}^1 + y_{2,17}^1 + y_{3,17}^1 + y_{7,17}^1 + y_{11,17}^2 \\
& + y_{12,17}^2 + y_{15,17}^2 + y_{17,17}^2)
\end{aligned}$$

再制造产品的收益:

$$\begin{aligned}
& L \left( \sum_{h=1}^H \sum_{f=1}^F p_{hf}^1 + \sum_{h=1}^H \sum_{g=1}^G p_{hg}^2 \right) \\
& = 200 \times (p_{11}^1 + p_{21}^1 + p_{31}^1 + p_{71}^1 + p_{91}^1 + p_{11,1}^1 + p_{12,1}^1 + p_{13,1}^1 + p_{15,1}^1 + p_{17,1}^1 + p_{12}^2 + p_{22}^2 + p_{32}^2 + p_{72}^2 + p_{92}^2 + \\
& p_{11,2}^2 + p_{12,2}^2 + p_{13,2}^2 + p_{15,2}^2 + p_{17,2}^2 + p_{17}^2 + p_{27}^2 + p_{37}^2 + p_{77}^2 + p_{97}^2 + p_{11,7}^2 + p_{12,7}^2 + p_{13,7}^2 + p_{15,7}^2 + p_{17,7}^2)
\end{aligned}$$

材料回收收益:

$$\begin{aligned}
& B \sum_{h=1}^H \sum_{e=1}^E r_{he} \\
& = 61 \times (p_{11}^1 + p_{12}^2 + p_{17}^2 + p_{21}^1 + p_{22}^2 + p_{27}^2 + p_{31}^1 + p_{32}^2 + p_{37}^2 + p_{71}^1 + p_{72}^2 + p_{77}^2 + p_{91}^1 + p_{92}^2 + p_{97}^2 + \\
& p_{11,1}^1 + p_{11,2}^2 + p_{11,7}^2 + p_{12,1}^1 + p_{12,2}^2 + p_{12,7}^2 + p_{13,1}^1 + p_{13,2}^2 + p_{13,7}^2 + p_{15,1}^1 + p_{15,2}^2 + p_{15,7}^2 + p_{17,1}^1 + p_{17,2}^2 + \\
& p_{17,7}^2)
\end{aligned}$$

(2) 设施的固定投资  $\varphi(\alpha, \beta, \chi, \delta)$

$$\varphi(\alpha, \beta, \chi, \delta) = \sum_{g=1}^G c_g^1 \alpha_g + \sum_{j=1}^J c_j^2 \beta_j + \sum_{h=1}^H c_h^3 \chi_h + \sum_{i=1}^I c_i^4 \delta_i$$

其中,

$$\text{在备选地 } g \text{ 开设工厂的固定成本: } \sum_{g=1}^G c_g^1 \alpha_g = 1000000(\alpha_2 + \alpha_7)$$

$$\text{在备选地 } j \text{ 开设分销中心的固定成本: } \sum_{j=1}^J c_j^2 \beta_j = 100000(\beta_{11} + \beta_{12} + \beta_{15} + \beta_{17})$$

在备选地  $h$  开设回收中心的固定成本:

$$\sum_{h=1}^H c_h^3 \chi_h = 100000(\chi_1 + \chi_2 + \chi_3 + \chi_7 + \chi_9 + \chi_{11} + \chi_{12} + \chi_{13} + \chi_{15} + \chi_{17})$$

在备选地  $t$  开设废弃物处置中心的固定成本:  $\sum_{i=1}^T c_i^4 \delta_i = 200000(\delta_3 + \delta_5)$

(3) 操作总成本  $\varphi(x, z, q)$

$$\begin{aligned} \varphi(x, z, q) = & \sum_{f=1}^F \sum_{i=1}^I x_{fi}^1 v_f^1 + \sum_{f=1}^F \sum_{j=1}^J x_{fj}^2 v_f^1 + \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^I x_{gi}^3 v_g^2 + \sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J x_{gj}^4 v_g^2 + \sum_{f=1}^F \sum_{i=1}^I x_{fi}^1 v_i^3 + \\ & \sum_{f=1}^F \sum_{j=1}^J x_{fj}^2 v_j^4 + \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^I x_{gi}^3 v_i^3 + \sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J x_{gj}^4 v_j^4 + \sum_{k=1}^K \sum_{h=1}^H z_{kh} v_h^5 + \sum_{h=1}^H \sum_{s=1}^S q_{hs}^1 v_s^6 + \sum_{h=1}^H \sum_{t=1}^T q_{ht}^2 v_t^7 \end{aligned}$$

其中,

工厂产品的生产成本:

$$\begin{aligned} & \sum_{f=1}^F \sum_{i=1}^I x_{fi}^1 v_f^1 + \sum_{f=1}^F \sum_{j=1}^J x_{fj}^2 v_f^1 + \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^I x_{gi}^3 v_g^2 + \sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J x_{gj}^4 v_g^2 \\ = & 2000 \times (x_{11}^1 + x_{12}^1 + x_{13}^1 + x_{17}^1 + x_{1,11}^2 + x_{1,12}^2 + x_{1,15}^2 + x_{1,17}^2 + x_{21}^3 + x_{22}^3 + x_{23}^3 + x_{27}^3 + x_{71}^3 + x_{72}^3 + x_{73}^3 + \\ & x_{77}^3 + x_{2,11}^4 + x_{2,12}^4 + x_{2,15}^4 + x_{2,17}^4 + x_{7,11}^4 + x_{7,12}^4 + x_{7,15}^4 + x_{7,17}^4) \end{aligned}$$

分销中心的操作成本:

$$\begin{aligned} & \sum_{f=1}^F \sum_{i=1}^I x_{fi}^1 v_i^3 + \sum_{f=1}^F \sum_{j=1}^J x_{fj}^2 v_j^4 + \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^I x_{gi}^3 v_i^3 + \sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J x_{gj}^4 v_j^4 \\ = & 10 \times (x_{11}^1 + x_{12}^1 + x_{13}^1 + x_{17}^1 + x_{1,11}^2 + x_{1,12}^2 + x_{1,15}^2 + x_{1,17}^2 + x_{21}^3 + x_{22}^3 + x_{23}^3 + x_{27}^3 + x_{71}^3 + x_{72}^3 + x_{73}^3 + x_{77}^3 + \\ & x_{2,11}^4 + x_{2,12}^4 + x_{2,15}^4 + x_{2,17}^4 + x_{7,11}^4 + x_{7,12}^4 + x_{7,15}^4 + x_{7,17}^4) \end{aligned}$$

回收中心处理废旧产品的操作成本:

$$\begin{aligned} & \sum_{k=1}^K \sum_{h=1}^H z_{kh} v_h^5 \\ = & 20 \times (z_{11} + z_{21} + z_{31} + z_{41} + z_{51} + z_{61} + z_{71} + z_{81} + z_{91} + z_{10,1} + z_{11,1} + z_{12,1} + z_{13,1} + z_{14,1} + z_{15,1} + z_{16,1} + \\ & z_{17,1} + z_{12} + z_{22} + z_{32} + z_{42} + z_{52} + z_{62} + z_{72} + z_{82} + z_{92} + z_{10,2} + z_{11,2} + z_{12,2} + z_{13,2} + z_{14,2} + z_{15,2} + \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 & z_{16,2} + z_{17,2} + z_{13} + z_{23} + z_{33} + z_{43} + z_{53} + z_{63} + z_{73} + z_{83} + z_{93} + z_{10,3} + z_{11,3} + z_{12,3} + z_{13,3} + z_{14,3} + \\
 & z_{15,3} + z_{16,3} + z_{17,3} + z_{17} + z_{27} + z_{37} + z_{47} + z_{57} + z_{67} + z_{77} + z_{87} + z_{97} + z_{10,7} + z_{11,7} + z_{12,7} + z_{13,7} + \\
 & z_{14,7} + z_{15,7} + z_{16,7} + z_{17,7} + z_{19} + z_{29} + z_{39} + z_{49} + z_{59} + z_{69} + z_{79} + z_{89} + z_{99} + z_{10,9} + z_{11,9} + z_{12,9} + \\
 & z_{13,9} + z_{14,9} + z_{15,9} + z_{16,9} + z_{17,9} + z_{1,11} + z_{2,11} + z_{3,11} + z_{4,11} + z_{5,11} + z_{6,11} + z_{7,11} + z_{8,11} + z_{9,11} + z_{10,11} + \\
 & z_{11,11} + z_{12,11} + z_{13,11} + z_{14,11} + z_{15,11} + z_{16,11} + z_{17,11} + z_{1,12} + z_{2,12} + z_{3,12} + z_{4,12} + z_{5,12} + z_{6,12} + z_{7,12} + \\
 & z_{8,12} + z_{9,12} + z_{10,12} + z_{11,12} + z_{12,12} + z_{13,12} + z_{14,12} + z_{15,12} + z_{16,12} + z_{17,12} + z_{1,13} + z_{2,13} + z_{3,13} + z_{4,13} + \\
 & z_{5,13} + z_{6,13} + z_{7,13} + z_{8,13} + z_{9,13} + z_{10,13} + z_{11,13} + z_{12,13} + z_{13,13} + z_{14,13} + z_{15,13} + z_{16,13} + z_{17,13} + z_{1,15} + \\
 & z_{2,15} + z_{3,15} + z_{4,15} + z_{5,15} + z_{6,15} + z_{7,15} + z_{8,15} + z_{9,15} + z_{10,15} + z_{11,15} + z_{12,15} + z_{13,15} + z_{14,15} + z_{15,15} + \\
 & z_{16,15} + z_{17,15} + z_{1,17} + z_{2,17} + z_{3,17} + z_{4,17} + z_{5,17} + z_{6,17} + z_{7,17} + z_{8,17} + z_{9,17} + z_{10,17} + z_{11,17} + z_{12,17} + \\
 & z_{13,17} + z_{14,17} + z_{15,17} + z_{16,17} + z_{17,17} )
 \end{aligned}$$

废弃物处置中心的废旧产品的操作成本：

$$\begin{aligned}
 & \sum_{h=1}^H \sum_{s=1}^S q_{hs}^1 v_s^6 + \sum_{h=1}^H \sum_{t=1}^T q_{ht}^2 v_t^7 \\
 & = 4.8 \times (q_{11}^1 + q_{21}^1 + q_{31}^1 + q_{71}^1 + q_{91}^1 + q_{11,1}^1 + q_{12,1}^1 + q_{13,1}^1 + q_{15,1}^1 + q_{17,1}^1 + q_{19}^1 + q_{29}^1 + q_{39}^1 \\
 & + q_{79}^1 + q_{99}^1 + q_{11,9}^1 + q_{12,9}^1 + q_{13,9}^1 + q_{15,9}^1 + q_{17,9}^1 + q_{13}^2 + q_{23}^2 + q_{33}^2 + q_{73}^2 + q_{93}^2 + q_{11,3}^2 + \\
 & q_{12,3}^2 + q_{13,3}^2 + q_{15,3}^2 + q_{17,3}^2 + q_{15}^2 + q_{25}^2 + q_{35}^2 + q_{75}^2 + q_{95}^2 + q_{11,5}^2 + q_{12,5}^2 + q_{13,5}^2 + q_{15,5}^2 + \\
 & q_{17,5}^2)
 \end{aligned}$$

(4) 运输费用  $\varphi(x, y, z, p, q)$

$$\begin{aligned}
 \varphi(x, y, z, p, q) = & aR \left( \sum_{f=1}^F \sum_{i=1}^I x_{fi}^1 d_{fi}^1 + \sum_{f=1}^F \sum_{j=1}^J x_{fj}^2 d_{fj}^2 + \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^I x_{gi}^3 d_{gi}^3 + \sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J x_{gj}^4 d_{gj}^4 \right) + \\
 & aR \left( \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K y_{ik}^1 d_{ik}^5 + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K y_{jk}^2 d_{jk}^6 \right) + aR \sum_{k=1}^K \sum_{h=1}^H z_{kh} d_{kh}^7 + aR \left( \sum_{h=1}^H \sum_{f=1}^F p_{hf}^1 d_{hf}^8 + \sum_{h=1}^H \sum_{g=1}^G p_{hg}^2 d_{hg}^9 \right) +
 \end{aligned}$$

$$aR \left( \sum_{h=1}^H \sum_{s=1}^S q_{hs}^1 d_{hs}^{10} + \sum_{h=1}^H \sum_{r=1}^T q_{hr}^2 d_{hr}^{11} \right) + aR \sum_{h=1}^H \sum_{e=1}^E r_{he} d_{he}^{12}$$

其中,

产品由工厂到分销中心的运输费用:

$$aR \left( \sum_{f=1}^F \sum_{i=1}^I x_{fi}^1 d_{fi}^1 + \sum_{f=1}^F \sum_{j=1}^J x_{fj}^2 d_{fj}^2 + \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^I x_{gi}^3 d_{gi}^3 + \sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J x_{gj}^4 d_{gj}^4 \right)$$

$$= x_{12}^1 \times 3.042 + x_{13}^1 \times 2.376 + x_{17}^1 \times 3.42 + x_{1,11}^2 \times 4.32 + x_{1,12}^2 \times 5.67 + x_{1,15}^2 \times 3.744 + x_{1,17}^2 \times 4.554 +$$

$$x_{21}^3 \times 3.042 + x_{23}^3 \times 5.418 + x_{27}^3 \times 6.48 + x_{71}^3 \times 3.42 + x_{72}^3 \times 6.48 + x_{73}^3 \times 4.86 + x_{2,11}^4 \times 3.24 + x_{2,12}^4$$

$$\times 3.51 + x_{2,15}^4 \times 6.84 + x_{2,17}^4 \times 7.29 + x_{7,11}^4 \times 6.75 + x_{7,12}^4 \times 8.55 + x_{7,15}^4 \times 5.04 + x_{7,17}^4 \times 1.17$$

产品由分销中心到消费区域的运输费用:

$$aR \left( \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K y_{ik}^1 d_{ik}^5 + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K y_{jk}^2 d_{jk}^6 \right)$$

$$= y_{21}^1 \times 3.042 + y_{31}^1 \times 2.376 + y_{71}^1 \times 3.42 + y_{11,1}^2 \times 4.32 + y_{12,1}^2 \times 5.67 + y_{15,1}^2 \times 3.744 + y_{17,1}^2 \times 4.554 +$$

$$y_{12}^1 \times 3.042 + y_{32}^1 \times 5.418 + y_{72}^1 \times 6.48 + y_{11,2}^2 \times 3.24 + y_{12,2}^2 \times 5.67 + y_{13,2}^2 \times 6.84 + y_{17,2}^2 \times 7.29 + y_{13}^1$$

$$\times 2.376 + y_{23}^1 \times 5.418 + y_{73}^1 \times 4.86 + y_{11,3}^2 \times 6.75 + y_{12,3}^2 \times 8.1 + y_{15,3}^2 \times 1.26 + y_{17,3}^2 \times 3.69 + y_{14}^1 \times 1.9$$

$$8 + y_{24}^1 \times 1.044 + y_{34}^1 \times 4.32 + y_{74}^1 \times 5.4 + y_{11,4}^2 \times 2.16 + y_{12,4}^2 \times 3.24 + y_{15,4}^2 \times 5.724 + y_{17,4}^2 \times 6.48 +$$

$$y_{15}^1 \times 5.58 + y_{25}^1 \times 2.61 + y_{35}^1 \times 7.956 + y_{75}^1 \times 9 + y_{11,5}^2 \times 2.7 + y_{12,5}^2 \times 2.43 + y_{15,5}^2 \times 9.18 + y_{17,5}^2 \times 10.0$$

$$8 + y_{16}^1 \times 2.52 + y_{26}^1 \times 5.562 + y_{36}^1 \times 2.16 + y_{76}^1 \times 2.7 + y_{11,6}^2 \times 6.84 + y_{12,6}^2 \times 8.64 + y_{15,6}^2 \times 3.06 + y_{17,6}^2$$

$$\times 0.99 + y_{17}^1 \times 3.42 + y_{27}^1 \times 6.48 + y_{37}^1 \times 4.86 + y_{11,7}^2 \times 6.75 + y_{12,7}^2 \times 8.55 + y_{15,7}^2 \times 5.04 + y_{17,7}^2 \times 1.17$$

$$+ y_{18}^1 \times 2.52 + y_{28}^1 \times 5.58 + y_{38}^1 \times 1.08 + y_{78}^1 \times 5.94 + y_{11,8}^2 \times 6.84 + y_{12,8}^2 \times 8.19 + y_{15,8}^2 \times 2.34 + y_{17,8}^2 \times$$

$$4.23 + y_{19}^1 \times 5.84 + y_{29}^1 \times 8.82 + y_{39}^1 \times 4.86 + y_{79}^1 \times 4.14 + y_{11,9}^2 \times 10.89 + y_{12,9}^2 \times 12.69 + y_{15,9}^2 \times 3.47$$

$$4 + y_{17,9}^2 \times 2.61 + y_{1,10}^1 \times 2.718 + y_{2,10}^1 \times 2.88 + y_{3,10}^1 \times 5.04 + y_{7,10}^1 \times 6.03 + y_{11,10}^2 \times 5.67 + y_{12,10}^2 \times 6.39$$

$$+ y_{15,10}^2 \times 6.3 + y_{17,10}^2 \times 7.11 + y_{1,11}^1 \times 4.32 + y_{2,11}^1 \times 3.24 + y_{3,11}^1 \times 6.75 + y_{7,11}^1 \times 6.75 + y_{12,11}^2 \times 1.872 +$$

$$y_{15,11}^2 \times 7.92 + y_{17,11}^2 \times 7.92 + y_{1,12}^1 \times 5.67 + y_{2,12}^1 \times 3.51 + y_{3,12}^1 \times 8.1 + y_{7,12}^1 \times 8.55 + y_{11,12}^2 \times 1.872 +$$

$$\begin{aligned}
& y_{15,12}^2 \times 9.36 + y_{17,12}^2 \times 9.72 + y_{1,13}^1 \times 4.68 + y_{2,13}^1 \times 1.656 + y_{3,13}^1 \times 7.02 + y_{7,13}^1 \times 8.1 + y_{11,13}^2 \times 2.52 + \\
& y_{12,13}^2 \times 1.98 + y_{15,13}^2 \times 8.46 + y_{17,13}^2 \times 9.18 + y_{1,14}^1 \times 1.422 + y_{2,14}^1 \times 4.464 + y_{3,14}^1 \times 3.78 + y_{7,14}^1 \times 3.42 \\
& + y_{11,14}^2 \times 2.88 + y_{12,14}^2 \times 4.68 + y_{15,14}^2 \times 5.166 + y_{17,14}^2 \times 4.32 + y_{1,15}^1 \times 3.744 + y_{2,15}^1 \times 6.84 + y_{3,15}^1 \times 1.2 \\
& 6 + y_{7,15}^1 \times 5.04 + y_{11,15}^2 \times 7.92 + y_{12,15}^2 \times 9.36 + y_{17,15}^2 \times 3.78 + y_{1,16}^1 \times 1.188 + y_{2,16}^1 \times 3.96 + y_{3,16}^1 \times 1.1 \\
& 88 + y_{7,16}^1 \times 5.508 + y_{11,16}^2 \times 5.508 + y_{12,16}^2 \times 6.84 + y_{15,16}^2 \times 2.556 + y_{17,16}^2 \times 5.04 + y_{1,17}^1 \times 4.554 + y_{2,17}^1 \\
& \times 7.29 + y_{3,17}^1 \times 3.69 + y_{7,17}^1 \times 1.17 + y_{11,17}^2 \times 7.92 + y_{12,17}^2 \times 9.72 + y_{15,17}^2 \times 3.78
\end{aligned}$$

废旧产品由消费区域到回收中心的运输费用:

$$\begin{aligned}
& aR \sum_{k=1}^K \sum_{h=1}^H z_{kh} d_{kh}^7 \\
& = z_{21} \times 3.042 + z_{31} \times 2.376 + z_{41} \times 1.98 + z_{51} \times 5.58 + z_{61} \times 2.52 + z_{71} \times 3.42 + z_{81} \times 2.52 + z_{91} \times \\
& 5.85 + z_{10,1} \times 2.718 + z_{11,1} \times 4.32 + z_{12,1} \times 5.67 + z_{13,1} \times 4.68 + z_{14,1} \times 1.422 + z_{15,1} \times 3.744 + z_{16,1} \times 1. \\
& 188 + z_{17,1} \times 4.554 + z_{12} \times 3.042 + z_{32} \times 5.418 + z_{42} \times 1.044 + z_{52} \times 2.61 + z_{62} \times 5.562 + z_{72} \times 6.48 \\
& + z_{82} \times 5.58 + z_{92} \times 8.82 + z_{10,2} \times 2.88 + z_{11,2} \times 3.24 + z_{12,2} \times 3.51 + z_{13,2} \times 1.656 + z_{14,2} \times 4.464 + \\
& z_{15,2} \times 6.84 + z_{16,2} \times 3.96 + z_{17,2} \times 7.29 + z_{13} \times 2.376 + z_{23} \times 5.418 + z_{43} \times 4.32 + z_{53} \times 7.956 + z_{63} \\
& \times 2.16 + z_{73} \times 4.86 + z_{83} \times 1.08 + z_{93} \times 4.86 + z_{10,3} \times 5.04 + z_{11,3} \times 6.75 + z_{12,3} \times 8.1 + z_{13,3} \times 7.02 + \\
& z_{14,3} \times 3.78 + z_{15,3} \times 1.26 + z_{16,3} \times 1.188 + z_{17,3} \times 3.69 + z_{17} \times 3.42 + z_{27} \times 6.48 + z_{37} \times 4.86 + z_{47} \times \\
& 5.4 + z_{57} \times 9 + z_{67} \times 2.7 + z_{87} \times 5.94 + z_{97} \times 4.14 + z_{10,7} \times 6.03 + z_{11,7} \times 6.75 + z_{12,7} \times 8.55 + z_{13,7} \times 8 \\
& .1 + z_{14,7} \times 3.42 + z_{15,7} \times 5.04 + z_{16,7} \times 5.508 + z_{17,7} \times 1.17 + z_{19} \times 5.85 + z_{29} \times 8.82 + z_{39} \times 4.86 + \\
& z_{49} \times 7.83 + z_{59} \times 11.43 + z_{69} \times 2.88 + z_{79} \times 4.14 + z_{89} \times 5.94 + z_{10,9} \times 9.72 + z_{11,9} \times 10.89 + z_{12,9} \times \\
& 12.69 + z_{13,9} \times 10.53 + z_{14,9} \times 7.2 + z_{15,9} \times 3.747 + z_{16,9} \times 6.03 + z_{17,9} \times 2.61 + z_{1,11} \times 4.32 + z_{2,11} \times 3. \\
& 24 + z_{3,11} \times 6.75 + z_{4,11} \times 2.16 + z_{5,11} \times 2.7 + z_{6,11} \times 6.84 + z_{7,11} \times 6.75 + z_{8,11} \times 6.84 + z_{9,11} \times 10.89 + \\
& z_{10,11} \times 5.67 + z_{12,11} \times 1.872 + z_{13,11} \times 2.52 + z_{14,11} \times 2.88 + z_{15,11} \times 7.92 + z_{16,11} \times 5.508 + z_{17,11} \times 7.9
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& 2+ z_{1,12} \times 5.67+ z_{2,12} \times 3.51+ z_{3,12} \times 8.1+ z_{4,12} \times 3.24+ z_{5,12} \times 2.43+ z_{6,12} \times 8.64+ z_{7,12} \times 8.55+ \\
& z_{8,12} \times 8.19+ z_{9,12} \times 12.69+ z_{10,12} \times 6.39+ z_{11,12} \times 1.872+ z_{13,12} \times 1.98+ z_{14,12} \times 4.68+ z_{15,12} \times 9.36 \\
& + z_{16,12} \times 6.84+ z_{17,12} \times 9.72+ z_{1,13} \times 4.68+ z_{2,13} \times 1.656+ z_{3,13} \times 7.02+ z_{4,13} \times 2.7+ z_{5,13} \times 0.954+ \\
& z_{6,13} \times 7.29+ z_{7,13} \times 8.1+ z_{8,13} \times 7.2+ z_{9,13} \times 10.53+ z_{10,13} \times 4.5+ z_{11,13} \times 2.52+ z_{12,13} \times 1.98+ \\
& z_{14,13} \times 6.102+ z_{15,13} \times 8.46+ z_{16,13} \times 5.85+ z_{17,13} \times 9.18+ z_{1,15} \times 3.744+ z_{2,15} \times 6.84+ z_{3,15} \times 1.26 \\
& + z_{4,15} \times 5.724+ z_{5,15} \times 9.18+ z_{6,15} \times 3.06+ z_{7,15} \times 5.04+ z_{8,15} \times 2.43+ z_{9,15} \times 3.474+ z_{10,15} \times 6.3+ \\
& z_{11,15} \times 7.92+ z_{12,15} \times 9.36+ z_{13,15} \times 8.46+ z_{14,15} \times 5.166+ z_{16,15} \times 2.556+ z_{17,15} \times 3.78+ z_{1,17} \times 4.5 \\
& 54+ z_{2,17} \times 7.29+ z_{3,17} \times 3.69+ z_{4,17} \times 6.48+ z_{5,17} \times 10.08+ z_{6,17} \times 0.99+ z_{7,17} \times 1.17+ z_{8,17} \times 4.23 \\
& + z_{9,17} \times 2.61+ z_{10,17} \times 7.11+ z_{11,17} \times 7.92+ z_{12,17} \times 9.72+ z_{13,17} \times 9.18+ z_{14,17} \times 4.32+ z_{15,17} \times 3.78 \\
& + z_{16,17} \times 5.04
\end{aligned}$$

废旧产品由回收中心到工厂的运输费用:

$$\begin{aligned}
& aR \left( \sum_{h=1}^H \sum_{f=1}^F p_{hf}^1 d_{hf}^8 + \sum_{h=1}^H \sum_{g=1}^G p_{hg}^2 d_{hg}^9 \right) \\
& = p_{21}^1 \times 3.042+ p_{31}^1 \times 2.376+ p_{71}^1 \times 3.42+ p_{91}^1 \times 5.85+ p_{11,1}^1 \times 4.32+ p_{12,1}^1 \times 5.67+ p_{13,1}^1 \times 4.68+ \\
& p_{15,1}^1 \times 3.744+ p_{17,1}^1 \times 4.554+ p_{12}^2 \times 3.042+ p_{32}^2 \times 5.418+ p_{72}^2 \times 6.48+ p_{92}^2 \times 8.82+ p_{11,2}^2 \times 3.24+ \\
& p_{12,2}^2 \times 3.51+ p_{13,2}^2 \times 1.656+ p_{15,2}^2 \times 6.84+ p_{17,2}^2 \times 7.29+ p_{17}^2 \times 3.24+ p_{27}^2 \times 6.48+ p_{37}^2 \times 4.86+ \\
& p_{97}^2 \times 4.4+ p_{11,7}^2 \times 6.75+ p_{12,7}^2 \times 8.55+ p_{13,7}^2 \times 8.1+ p_{15,7}^2 \times 5.04+ p_{17,7}^2 \times 1.17
\end{aligned}$$

废旧产品由回收中心到废弃物处理中心的运输费用:

$$\begin{aligned}
& aR \left( \sum_{h=1}^H \sum_{s=1}^S q_{hs}^1 d_{hs}^{10} + \sum_{h=1}^H \sum_{t=1}^T q_{ht}^2 d_{ht}^{11} \right) \\
& = q_{21}^1 \times 3.042+ q_{31}^1 \times 2.376+ q_{71}^1 \times 3.42+ q_{91}^1 \times 5.85+ q_{11,1}^1 \times 4.32+ q_{12,1}^1 \times 5.67+ q_{13,1}^1 \times 4.68+ \\
& q_{15,1}^1 \times 3.744+ q_{17,1}^1 \times 4.554+ q_{19}^1 \times 5.85+ q_{29}^1 \times 8.82+ q_{39}^1 \times 4.86+ q_{79}^1 \times 4.14+
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& q_{11,9}^1 \times 10.89 + q_{12,9}^1 \times 12.69 + q_{13,9}^1 \times 10.53 + q_{15,9}^1 \times 3.474 + q_{17,9}^1 \times 2.61 + q_{13}^2 \times 2.376 + \\
& q_{23}^2 \times 5.418 + q_{73}^2 \times 4.86 + q_{93}^2 \times 4.86 + q_{11,3}^2 \times 6.75 + q_{12,3}^2 \times 8.1 + q_{13,3}^2 \times 7.02 + q_{15,3}^2 \times 1.26 \\
& + q_{17,3}^2 \times 3.69 + q_{15}^2 \times 5.58 + q_{25}^2 \times 2.61 + q_{35}^2 \times 7.956 + q_{75}^2 \times 9 + q_{95}^2 \times 11.43 + q_{11,5}^2 \times 2.7 + \\
& q_{12,5}^2 \times 2.43 + q_{13,5}^2 \times 0.954 + q_{15,5}^2 \times 9.18 + q_{17,5}^2 \times 10.08
\end{aligned}$$

废旧产品由回收中心到再生材料市场的运输费用：

$$\begin{aligned}
& aR \sum_{h=1}^H \sum_{c=1}^E r_{hc} d_{hc}^{12} \\
& = (p_{11}^1 + p_{12}^2 + p_{17}^2) \times 2.52 + (p_{21}^1 + p_{22}^2 + p_{27}^2) \times 5.58 + (p_{31}^1 + p_{32}^2 + p_{37}^2) \times 1.08 + (p_{71}^1 + p_{72}^2 + p_{77}^2) \\
& \quad \times 5.94 + (p_{91}^1 + p_{92}^2 + p_{97}^2) \times 5.94 + (p_{11,1}^1 + p_{11,2}^2 + p_{11,7}^2) \times 6.84 + (p_{12,1}^1 + p_{12,2}^2 + p_{12,7}^2) \times 8.19 + \\
& \quad p_{13,1}^1 + p_{13,2}^2 + p_{13,7}^2) \times 7.2 + (p_{15,1}^1 + p_{15,2}^2 + p_{15,7}^2) \times 2.43 + (p_{17,1}^1 + p_{17,2}^2 + p_{17,7}^2) \times 4.23
\end{aligned}$$

### (5) 约束条件

$$\alpha_2, \alpha_7, \beta_{11}, \beta_{12}, \beta_{15}, \beta_{17}, \chi_1, \chi_2, \chi_3, \chi_7, \chi_9, \chi_{11}, \chi_{12}, \chi_{13}, \chi_{15}, \chi_{17}, \delta_3, \delta_5 \in \{0, 1\}$$

$$x_{11}^1 + x_{12}^1 + x_{13}^1 + x_{17}^1 + x_{1,11}^2 + x_{1,12}^2 + x_{1,15}^2 + x_{1,17}^2 \leq 200000$$

$$x_{21}^3 + x_{22}^3 + x_{23}^3 + x_{27}^3 + x_{2,11}^4 + x_{2,12}^4 + x_{2,15}^4 + x_{2,17}^4 \leq 200000 \alpha_2$$

$$x_{71}^3 + x_{72}^3 + x_{73}^3 + x_{77}^3 + x_{7,11}^4 + x_{7,12}^4 + x_{7,15}^4 + x_{7,17}^4 \leq 200000 \alpha_7$$

$$\begin{aligned}
& y_{11}^1 + y_{12}^1 + y_{13}^1 + y_{14}^1 + y_{15}^1 + y_{16}^1 + y_{17}^1 + y_{18}^1 + y_{19}^1 + y_{1,10}^1 + y_{1,11}^1 + y_{1,12}^1 + y_{1,13}^1 + y_{1,14}^1 + y_{1,15}^1 + y_{1,16}^1 + y_{1,17}^1 \\
& \leq 30000
\end{aligned}$$

$$y_{21}^1 + y_{22}^1 + y_{23}^1 + y_{24}^1 + y_{25}^1 + y_{26}^1 + y_{27}^1 + y_{28}^1 + y_{29}^1 + y_{2,10}^1 + y_{2,11}^1 + y_{2,12}^1 + y_{2,13}^1 + y_{2,14}^1 + y_{2,15}^1 + y_{2,16}^1$$

$$y_{2,17}^1 \leq 30000$$

$$y_{31}^1 + y_{32}^1 + y_{33}^1 + y_{34}^1 + y_{35}^1 + y_{36}^1 + y_{37}^1 + y_{38}^1 + y_{39}^1 + y_{3,10}^1 + y_{3,11}^1 + y_{3,12}^1 + y_{3,13}^1 + y_{3,14}^1 + y_{3,15}^1 + y_{3,16}^1 +$$

$$y_{3,17}^1 \leq 30000$$

$$y_{71}^1 + y_{72}^1 + y_{73}^1 + y_{74}^1 + y_{75}^1 + y_{76}^1 + y_{77}^1 + y_{78}^1 + y_{79}^1 + y_{7,10}^1 + y_{7,11}^1 + y_{7,12}^1 + y_{7,13}^1 + y_{7,14}^1 + y_{7,15}^1 + y_{7,16}^1$$

$$y_{7,17}^1 \leq 30000$$

$$y_{11,1}^2 + y_{11,2}^2 + y_{11,3}^2 + y_{11,4}^2 + y_{11,5}^2 + y_{11,6}^2 + y_{11,7}^2 + y_{11,8}^2 + y_{11,9}^2 + y_{11,10}^2 + y_{11,11}^2 + y_{11,12}^2 + y_{11,13}^2 + y_{11,14}^2 +$$

$$y_{11,15}^2 + y_{11,16}^2 + y_{11,17}^2 \leq 30000 \beta_{11}$$

$$y_{12,1}^2 + y_{12,2}^2 + y_{12,3}^2 + y_{12,4}^2 + y_{12,5}^2 + y_{12,6}^2 + y_{12,7}^2 + y_{12,8}^2 + y_{12,9}^2 + y_{12,10}^2 + y_{12,11}^2 + y_{12,12}^2 + y_{12,13}^2 + y_{12,14}^2 +$$

$$y_{12,15}^2 + y_{12,16}^2 + y_{12,17}^2 \leq 30000 \beta_{12}$$

$$y_{15,1}^2 + y_{15,2}^2 + y_{15,3}^2 + y_{15,4}^2 + y_{15,5}^2 + y_{15,6}^2 + y_{15,7}^2 + y_{15,8}^2 + y_{15,9}^2 + y_{15,10}^2 + y_{15,11}^2 + y_{15,12}^2 + y_{15,13}^2 + y_{15,14}^2 +$$

$$y_{15,15}^2 + y_{15,16}^2 + y_{15,17}^2 \leq 30000 \beta_{15}$$

$$y_{17,1}^2 + y_{17,2}^2 + y_{17,3}^2 + y_{17,4}^2 + y_{17,5}^2 + y_{17,6}^2 + y_{17,7}^2 + y_{17,8}^2 + y_{17,9}^2 + y_{17,10}^2 + y_{17,11}^2 + y_{17,12}^2 + y_{17,13}^2 + y_{17,14}^2 +$$

$$y_{17,15}^2 + y_{17,16}^2 + y_{17,17}^2 \leq 30000 \beta_{17}$$

$$z_{11} + z_{21} + z_{31} + z_{41} + z_{51} + z_{61} + z_{71} + z_{81} + z_{91} + z_{10,1} + z_{11,1} + z_{12,1} + z_{13,1} + z_{14,1} + z_{15,1} + z_{16,1} + z_{17,1} \leq$$

$$30000 \chi_1$$

$$z_{12} + z_{22} + z_{32} + z_{42} + z_{52} + z_{62} + z_{72} + z_{82} + z_{92} + z_{10,2} + z_{11,2} + z_{12,2} + z_{13,2} + z_{14,2} + z_{15,2} + z_{16,2} +$$

$$z_{17,2} \leq 30000 \chi_2$$

$$z_{13} + z_{23} + z_{33} + z_{43} + z_{53} + z_{63} + z_{73} + z_{83} + z_{93} + z_{10,3} + z_{11,3} + z_{12,3} + z_{13,3} + z_{14,3} + z_{15,3} + z_{16,3} +$$

$$z_{17,3} \leq 30000 \chi_3$$

$$z_{17} + z_{27} + z_{37} + z_{47} + z_{57} + z_{67} + z_{77} + z_{87} + z_{97} + z_{10,7} + z_{11,7} + z_{12,7} + z_{13,7} + z_{14,7} + z_{15,7} + z_{16,7} +$$

$$z_{17,7} \leq 30000 \chi_7$$

$$z_{19} + z_{29} + z_{39} + z_{49} + z_{59} + z_{69} + z_{79} + z_{89} + z_{99} + z_{10,9} + z_{11,9} + z_{12,9} + z_{13,9} + z_{14,9} + z_{15,9} + z_{16,9} +$$

$$z_{17,9} \leq 30000 \chi_9$$

$$z_{1,11} + z_{2,11} + z_{3,11} + z_{4,11} + z_{5,11} + z_{6,11} + z_{7,11} + z_{8,11} + z_{9,11} + z_{10,11} + z_{11,11} + z_{12,11} + z_{13,11} + z_{14,11} + z_{15,11}$$

$$+ z_{16,11} + z_{17,11} \leq 30000 \chi_{11}$$

$$z_{1,12} + z_{2,12} + z_{3,12} + z_{4,12} + z_{5,12} + z_{6,12} + z_{7,12} + z_{8,12} + z_{9,12} + z_{10,12} + z_{11,12} + z_{12,12} + z_{13,12} + z_{14,12} +$$

$$z_{15,12} + z_{16,12} + z_{17,12} \leq 30000 \chi_{12}$$

$$z_{1,13} + z_{2,13} + z_{3,13} + z_{4,13} + z_{5,13} + z_{6,13} + z_{7,13} + z_{8,13} + z_{9,13} + z_{10,13} + z_{11,13} + z_{12,13} + z_{13,13} + z_{14,13} +$$

$$z_{15,13} + z_{16,13} + z_{17,13} \leq 30000 \chi_{13}$$

$$z_{1,15} + z_{2,15} + z_{3,15} + z_{4,15} + z_{5,15} + z_{6,15} + z_{7,15} + z_{8,15} + z_{9,15} + z_{10,15} + z_{11,15} + z_{12,15} + z_{13,15} + z_{14,15} +$$

$$z_{15,15} + z_{16,15} + z_{17,15} \leq 30000 \chi_{15}$$

$$z_{1,17} + z_{2,17} + z_{3,17} + z_{4,17} + z_{5,17} + z_{6,17} + z_{7,17} + z_{8,17} + z_{9,17} + z_{10,17} + z_{11,17} + z_{12,17} + z_{13,17} + z_{14,17} +$$

$$z_{15,17} + z_{16,17} + z_{17,17} \leq 30000 \chi_{17}$$

$$q_{11}^1 + q_{21}^1 + q_{31}^1 + q_{71}^1 + q_{91}^1 + q_{11,1}^1 + q_{12,1}^1 + q_{13,1}^1 + q_{15,1}^1 + q_{17,1}^1 \leq 2500$$

$$q_{19}^1 + q_{29}^1 + q_{39}^1 + q_{79}^1 + q_{99}^1 + q_{11,9}^1 + q_{12,9}^1 + q_{13,9}^1 + q_{15,9}^1 + q_{17,9}^1 \leq 2500$$

$$q_{13}^2 + q_{23}^2 + q_{33}^2 + q_{73}^2 + q_{93}^2 + q_{11,3}^2 + q_{12,3}^2 + q_{13,3}^2 + q_{15,3}^2 + q_{17,3}^2 \leq 2500 \delta_3$$

$$q_{15}^2 + q_{25}^2 + q_{35}^2 + q_{75}^2 + q_{95}^2 + q_{11,5}^2 + q_{12,5}^2 + q_{13,5}^2 + q_{15,5}^2 + q_{17,5}^2 \leq 2500 \delta_5$$

$$y_{11}^1 + y_{21}^1 + y_{31}^1 + y_{71}^1 + y_{11,1}^2 + y_{12,1}^2 + y_{15,1}^2 + y_{17,1}^2 \leq 3700$$

$$y_{12}^1 + y_{22}^1 + y_{32}^1 + y_{72}^1 + y_{11,2}^2 + y_{12,2}^2 + y_{15,2}^2 + y_{17,2}^2 \leq 2870$$

$$y_{13}^1 + y_{23}^1 + y_{33}^1 + y_{73}^1 + y_{11,3}^2 + y_{12,3}^2 + y_{15,3}^2 + y_{17,3}^2 \leq 1830$$

$$y_{14}^1 + y_{24}^1 + y_{34}^1 + y_{74}^1 + y_{11,4}^2 + y_{12,4}^2 + y_{15,4}^2 + y_{17,4}^2 \leq 1750$$

$$y_{15}^1 + y_{25}^1 + y_{35}^1 + y_{75}^1 + y_{11,5}^2 + y_{12,5}^2 + y_{15,5}^2 + y_{17,5}^2 \leq 1660$$

$$y_{16}^1 + y_{26}^1 + y_{36}^1 + y_{76}^1 + y_{11,6}^2 + y_{12,6}^2 + y_{15,6}^2 + y_{17,6}^2 \leq 580$$

$$y_{17}^1 + y_{27}^1 + y_{37}^1 + y_{77}^1 + y_{11,7}^2 + y_{12,7}^2 + y_{15,7}^2 + y_{17,7}^2 \leq 5080$$

$$y_{18}^1 + y_{28}^1 + y_{38}^1 + y_{78}^1 + y_{11,8}^2 + y_{12,8}^2 + y_{15,8}^2 + y_{17,8}^2 \leq 1000$$

$$y_{19}^1 + y_{29}^1 + y_{39}^1 + y_{79}^1 + y_{11,9}^2 + y_{12,9}^2 + y_{15,9}^2 + y_{17,9}^2 \leq 1230$$

$$y_{1,10}^1 + y_{2,10}^1 + y_{3,10}^1 + y_{7,10}^1 + y_{11,10}^2 + y_{12,10}^2 + y_{15,10}^2 + y_{17,10}^2 \leq 3580$$

$$y_{1,11}^1 + y_{2,11}^1 + y_{3,11}^1 + y_{7,11}^1 + y_{11,11}^2 + y_{12,11}^2 + y_{15,11}^2 + y_{17,11}^2 \leq 6700$$

$$y_{1,12}^1 + y_{2,12}^1 + y_{3,12}^1 + y_{7,12}^1 + y_{11,12}^2 + y_{12,12}^2 + y_{15,12}^2 + y_{17,12}^2 \leq 4420$$

$$y_{1,13}^1 + y_{2,13}^1 + y_{3,13}^1 + y_{7,13}^1 + y_{11,13}^2 + y_{12,13}^2 + y_{15,13}^2 + y_{17,13}^2 \leq 4910$$

$$y_{1,14}^1 + y_{2,14}^1 + y_{3,14}^1 + y_{7,14}^1 + y_{11,14}^2 + y_{12,14}^2 + y_{15,14}^2 + y_{17,14}^2 \leq 5500$$

$$y_{1,15}^1 + y_{2,15}^1 + y_{3,15}^1 + y_{7,15}^1 + y_{11,15}^2 + y_{12,15}^2 + y_{15,15}^2 + y_{17,15}^2 \leq 2250$$

$$y_{1,16}^1 + y_{2,16}^1 + y_{3,16}^1 + y_{7,16}^1 + y_{11,16}^2 + y_{12,16}^2 + y_{15,16}^2 + y_{17,16}^2 \leq 3700$$

$$y_{1,17}^1 + y_{2,17}^1 + y_{3,17}^1 + y_{7,17}^1 + y_{11,17}^2 + y_{12,17}^2 + y_{15,17}^2 + y_{17,17}^2 \leq 1300$$

$$z_{11} + z_{12} + z_{13} + z_{17} + z_{19} + z_{1,11} + z_{1,12} + z_{1,13} + z_{1,15} + z_{1,17} \leq 2220$$

$$z_{21} + z_{22} + z_{23} + z_{27} + z_{29} + z_{2,11} + z_{2,12} + z_{2,13} + z_{2,15} + z_{2,17} \leq 1722$$

$$z_{31} + z_{32} + z_{33} + z_{37} + z_{39} + z_{3,11} + z_{3,12} + z_{3,13} + z_{3,15} + z_{3,17} \leq 1098$$

$$z_{41} + z_{42} + z_{43} + z_{47} + z_{49} + z_{4,11} + z_{4,12} + z_{4,13} + z_{4,15} + z_{4,17} \leq 1050$$

$$z_{51} + z_{52} + z_{53} + z_{57} + z_{59} + z_{5,11} + z_{5,12} + z_{5,13} + z_{5,15} + z_{5,17} \leq 996$$

$$z_{61} + z_{62} + z_{63} + z_{67} + z_{69} + z_{6,11} + z_{6,12} + z_{6,13} + z_{6,15} + z_{6,17} \leq 348$$

$$z_{71} + z_{72} + z_{73} + z_{77} + z_{79} + z_{7,11} + z_{7,12} + z_{7,13} + z_{7,15} + z_{7,17} \leq 3048$$

$$z_{81} + z_{82} + z_{83} + z_{87} + z_{89} + z_{8,11} + z_{8,12} + z_{8,13} + z_{8,15} + z_{8,17} \leq 600$$

$$z_{91} + z_{92} + z_{93} + z_{97} + z_{99} + z_{9,11} + z_{9,12} + z_{9,13} + z_{9,15} + z_{9,17} \leq 738$$

$$z_{10,1} + z_{10,2} + z_{10,3} + z_{10,7} + z_{10,9} + z_{10,11} + z_{10,12} + z_{10,13} + z_{10,15} + z_{10,17} \leq 2148$$

$$z_{11,1} + z_{11,2} + z_{11,3} + z_{11,7} + z_{11,9} + z_{11,11} + z_{11,12} + z_{11,13} + z_{11,15} + z_{11,17} \leq 4020$$

$$z_{12,1} + z_{12,2} + z_{12,3} + z_{12,7} + z_{12,9} + z_{12,11} + z_{12,12} + z_{12,13} + z_{12,15} + z_{12,17} \leq 2652$$

$$z_{13,1} + z_{13,2} + z_{13,3} + z_{13,7} + z_{13,9} + z_{13,11} + z_{13,12} + z_{13,13} + z_{13,15} \leq 2946$$

$$z_{14,1} + z_{14,2} + z_{14,3} + z_{14,7} + z_{14,9} + z_{14,11} + z_{14,12} + z_{14,13} + z_{14,15} + z_{14,17} \leq 3300$$

$$z_{15,1} + z_{15,2} + z_{15,3} + z_{15,7} + z_{15,9} + z_{15,11} + z_{15,12} + z_{15,13} + z_{15,15} + z_{15,17} \leq 1350$$



$$z_{16,1} + z_{16,2} + z_{16,3} + z_{16,7} + z_{16,9} + z_{16,11} + z_{16,12} + z_{16,13} + z_{16,15} + z_{16,17} \leq 2250$$

$$z_{17,1} + z_{17,2} + z_{17,3} + z_{17,7} + z_{17,9} + z_{17,11} + z_{17,12} + z_{17,13} + z_{17,15} + z_{17,17} \leq 780$$

$$y_{11}^1 + y_{12}^1 + y_{13}^1 + y_{14}^1 + y_{15}^1 + y_{16}^1 + y_{17}^1 + y_{18}^1 + y_{19}^1 + y_{1,10}^1 + y_{1,11}^1 + y_{1,12}^1 + y_{1,13}^1 + y_{1,14}^1 + y_{1,15}^1 + y_{1,16}^1 + y_{1,17}^1 = x_{11}^1 + x_{21}^3 + x_{71}^3$$

$$y_{21}^1 + y_{22}^1 + y_{23}^1 + y_{24}^1 + y_{25}^1 + y_{26}^1 + y_{27}^1 + y_{28}^1 + y_{29}^1 + y_{2,10}^1 + y_{2,11}^1 + y_{2,12}^1 + y_{2,13}^1 + y_{2,14}^1 + y_{2,15}^1 + y_{2,16}^1$$

$$y_{2,17}^1 = x_{12}^1 + x_{22}^3 + x_{72}^3$$

$$y_{31}^1 + y_{32}^1 + y_{33}^1 + y_{34}^1 + y_{35}^1 + y_{36}^1 + y_{37}^1 + y_{38}^1 + y_{39}^1 + y_{3,10}^1 + y_{3,11}^1 + y_{3,12}^1 + y_{3,13}^1 + y_{3,14}^1 + y_{3,15}^1 + y_{3,16}^1 +$$

$$y_{3,17}^1 = x_{13}^1 + x_{23}^3 + x_{73}^3$$

$$y_{71}^1 + y_{72}^1 + y_{73}^1 + y_{74}^1 + y_{75}^1 + y_{76}^1 + y_{77}^1 + y_{78}^1 + y_{79}^1 + y_{7,10}^1 + y_{7,11}^1 + y_{7,12}^1 + y_{7,13}^1 + y_{7,14}^1 + y_{7,15}^1 + y_{7,16}^1 +$$

$$y_{7,17}^1 = x_{17}^1 + x_{27}^3 + x_{77}^3$$

$$y_{11,1}^2 + y_{11,2}^2 + y_{11,3}^2 + y_{11,4}^2 + y_{11,5}^2 + y_{11,6}^2 + y_{11,7}^2 + y_{11,8}^2 + y_{11,9}^2 + y_{11,10}^2 + y_{11,11}^2 + y_{11,12}^2 + y_{11,13}^2 + y_{11,14}^2 +$$

$$y_{11,15}^2 + y_{11,16}^2 + y_{11,17}^2 = x_{1,11}^2 + x_{2,11}^4 + x_{7,11}^4$$

$$y_{12,1}^2 + y_{12,2}^2 + y_{12,3}^2 + y_{12,4}^2 + y_{12,5}^2 + y_{12,6}^2 + y_{12,7}^2 + y_{12,8}^2 + y_{12,9}^2 + y_{12,10}^2 + y_{12,11}^2 + y_{12,12}^2 + y_{12,13}^2 + y_{12,14}^2 +$$

$$y_{12,15}^2 + y_{12,16}^2 + y_{12,17}^2 = x_{1,12}^2 + x_{2,12}^4 + x_{7,12}^4$$

$$y_{15,1}^2 + y_{15,2}^2 + y_{15,3}^2 + y_{15,4}^2 + y_{15,5}^2 + y_{15,6}^2 + y_{15,7}^2 + y_{15,8}^2 + y_{15,9}^2 + y_{15,10}^2 + y_{15,11}^2 + y_{15,12}^2 + y_{15,13}^2 + y_{15,14}^2 +$$

$$y_{15,15}^2 + y_{15,16}^2 + y_{15,17}^2 = x_{1,15}^2 + x_{2,15}^4 + x_{7,15}^4$$

$$y_{17,1}^2 + y_{17,2}^2 + y_{17,3}^2 + y_{17,4}^2 + y_{17,5}^2 + y_{17,6}^2 + y_{17,7}^2 + y_{17,8}^2 + y_{17,9}^2 + y_{17,10}^2 + y_{17,11}^2 + y_{17,12}^2 + y_{17,13}^2 + y_{17,14}^2 +$$

$$y_{17,15}^2 + y_{17,16}^2 + y_{17,17}^2 = x_{1,17}^2 + x_{2,17}^4 + x_{7,17}^4$$

$$0.4 \times (z_{11} + z_{21} + z_{31} + z_{41} + z_{51} + z_{61} + z_{71} + z_{81} + z_{91} + z_{10,1} + z_{11,1} + z_{12,1} + z_{13,1} + z_{14,1} + z_{15,1} + z_{16,1} +$$

$$z_{17,1}) = p_{11}^1 + p_{12}^2 + p_{17}^2$$

$$0.4 \times (z_{12} + z_{22} + z_{32} + z_{42} + z_{52} + z_{62} + z_{72} + z_{82} + z_{92} + z_{10,2} + z_{11,2} + z_{12,2} + z_{13,2} + z_{14,2} + z_{15,2} +$$

$$z_{16,2} + z_{17,2}) = p_{21}^1 + p_{22}^2 + p_{27}^2$$

$$0.4 \times (z_{13} + z_{23} + z_{33} + z_{43} + z_{53} + z_{63} + z_{73} + z_{83} + z_{93} + z_{10,3} + z_{11,3} + z_{12,3} + z_{13,3} + z_{14,3} + z_{15,3} + z_{16,3} + z_{17,3}) = P_{31}^1 + P_{32}^2 + P_{37}^2$$

$$0.4 \times (z_{17} + z_{27} + z_{37} + z_{47} + z_{57} + z_{67} + z_{77} + z_{87} + z_{97} + z_{10,7} + z_{11,7} + z_{12,7} + z_{13,7} + z_{14,7} + z_{15,7} + z_{16,7} + z_{17,7}) = P_{71}^1 + P_{72}^2 + P_{77}^2$$

$$0.4 \times (z_{19} + z_{29} + z_{39} + z_{49} + z_{59} + z_{69} + z_{79} + z_{89} + z_{99} + z_{10,9} + z_{11,9} + z_{12,9} + z_{13,9} + z_{14,9} + z_{15,9} + z_{16,9} + z_{17,9}) = P_{91}^1 + P_{92}^2 + P_{97}^2$$

$$0.4 \times (z_{1,11} + z_{2,11} + z_{3,11} + z_{4,11} + z_{5,11} + z_{6,11} + z_{7,11} + z_{8,11} + z_{9,11} + z_{10,11} + z_{11,11} + z_{12,11} + z_{13,11} + z_{14,11} + z_{15,11} + z_{16,11} + z_{17,11}) = P_{11,1}^1 + P_{11,2}^2 + P_{11,7}^2$$

$$0.4 \times (z_{1,12} + z_{2,12} + z_{3,12} + z_{4,12} + z_{5,12} + z_{6,12} + z_{7,12} + z_{8,12} + z_{9,12} + z_{10,12} + z_{11,12} + z_{12,12} + z_{13,12} + z_{14,12} + z_{15,12} + z_{16,12} + z_{17,12}) = P_{12,1}^1 + P_{12,2}^2 + P_{12,7}^2$$

$$0.4 \times (z_{1,13} + z_{2,13} + z_{3,13} + z_{4,13} + z_{5,13} + z_{6,13} + z_{7,13} + z_{8,13} + z_{9,13} + z_{10,13} + z_{11,13} + z_{12,13} + z_{13,13} + z_{14,13} + z_{15,13} + z_{16,13} + z_{17,13}) = P_{13,1}^1 + P_{13,2}^2 + P_{13,7}^2$$

$$0.4 \times (z_{1,15} + z_{2,15} + z_{3,15} + z_{4,15} + z_{5,15} + z_{6,15} + z_{7,15} + z_{8,15} + z_{9,15} + z_{10,15} + z_{11,15} + z_{12,15} + z_{13,15} + z_{14,15} + z_{15,15} + z_{16,15} + z_{17,15}) = P_{15,1}^1 + P_{15,2}^2 + P_{15,7}^2$$

$$0.4 \times (z_{1,17} + z_{2,17} + z_{3,17} + z_{4,17} + z_{5,17} + z_{6,17} + z_{7,17} + z_{8,17} + z_{9,17} + z_{10,17} + z_{11,17} + z_{12,17} + z_{13,17} + z_{14,17} + z_{15,17} + z_{16,17} + z_{17,17}) = P_{17,1}^1 + P_{17,2}^2 + P_{17,7}^2$$

$$q_{11}^1 + q_{19}^1 + q_{13}^2 + q_{15}^2 = 0.2 \times (z_{11} + z_{21} + z_{31} + z_{41} + z_{51} + z_{61} + z_{71} + z_{81} + z_{91} + z_{10,1} + z_{11,1} + z_{12,1} + z_{13,1} + z_{14,1} + z_{15,1} + z_{16,1} + z_{17,1})$$

$$q_{21}^1 + q_{29}^1 + q_{23}^2 + q_{25}^2 = 0.2 \times (z_{12} + z_{22} + z_{32} + z_{42} + z_{52} + z_{62} + z_{72} + z_{82} + z_{92} + z_{10,2} + z_{11,2} + z_{12,2} + z_{13,2} + z_{14,2} + z_{15,2} + z_{16,2} + z_{17,2})$$

$$q_{31}^1 + q_{39}^1 + q_{33}^2 + q_{35}^2 = 0.2 \times (z_{13} + z_{23} + z_{33} + z_{43} + z_{53} + z_{63} + z_{73} + z_{83} + z_{93} + z_{10,3} + z_{11,3} + z_{12,3} + z_{13,3} + z_{14,3} + z_{15,3} + z_{16,3} + z_{17,3})$$

$$q_{71}^1 + q_{79}^1 + q_{73}^2 + q_{75}^2 = 0.2 \times (z_{17} + z_{27} + z_{37} + z_{47} + z_{57} + z_{67} + z_{77} + z_{87} + z_{97} + z_{10,7} + z_{11,7} + z_{12,7} + z_{13,7} + z_{14,7} + z_{15,7} + z_{16,7} + z_{17,7})$$

$$q_{91}^1 + q_{99}^1 + q_{93}^2 + q_{95}^2 = 0.2 \times (z_{19} + z_{29} + z_{39} + z_{49} + z_{59} + z_{69} + z_{79} + z_{89} + z_{99} + z_{10,9} + z_{11,9} + z_{12,9} + z_{13,9} + z_{14,9} + z_{15,9} + z_{16,9} + z_{17,9})$$

$$q_{11,1}^1 + q_{11,9}^1 + q_{11,3}^2 + q_{11,5}^2 = 0.2 \times (z_{1,11} + z_{2,11} + z_{3,11} + z_{4,11} + z_{5,11} + z_{6,11} + z_{7,11} + z_{8,11} + z_{9,11} + z_{10,11} + z_{11,11} + z_{12,11} + z_{13,11} + z_{14,11} + z_{15,11} + z_{16,11} + z_{17,11})$$

$$q_{12,1}^1 + q_{12,9}^1 + q_{12,3}^2 + q_{12,5}^2 = 0.2 \times (z_{1,12} + z_{2,12} + z_{3,12} + z_{4,12} + z_{5,12} + z_{6,12} + z_{7,12} + z_{8,12} + z_{9,12} + z_{10,12} + z_{11,12} + z_{12,12} + z_{13,12} + z_{14,12} + z_{15,12} + z_{16,12} + z_{17,12})$$

$$q_{13,1}^1 + q_{13,9}^1 + q_{13,3}^2 + q_{13,5}^2 = 0.2 \times (z_{1,13} + z_{2,13} + z_{3,13} + z_{4,13} + z_{5,13} + z_{6,13} + z_{7,13} + z_{8,13} + z_{9,13} + z_{10,13} + z_{11,13} + z_{12,13} + z_{13,13} + z_{14,13} + z_{15,13} + z_{16,13} + z_{17,13})$$

$$q_{15,1}^1 + q_{15,9}^1 + q_{15,3}^2 + q_{15,5}^2 = 0.2 \times (z_{1,15} + z_{2,15} + z_{3,15} + z_{4,15} + z_{5,15} + z_{6,15} + z_{7,15} + z_{8,15} + z_{9,15} + z_{10,15} + z_{11,15} + z_{12,15} + z_{13,15} + z_{14,15} + z_{15,15} + z_{16,15} + z_{17,15})$$

$$q_{17,1}^1 + q_{17,9}^1 + q_{17,3}^2 + q_{17,5}^2 = 0.2 \times (z_{1,17} + z_{2,17} + z_{3,17} + z_{4,17} + z_{5,17} + z_{6,17} + z_{7,17} + z_{8,17} + z_{9,17} + z_{10,17} + z_{11,17} + z_{12,17} + z_{13,17} + z_{14,17} + z_{15,17} + z_{16,17} + z_{17,17})$$

所有的变量都为不小于零的整数值。

### 5.2.2 实例模型的求解

根据上述模型,运用 lingo8.0 软件对其进行求解(求解程序及结果如附录所示),可得目标函数的最优解即期望的最大收益  $f(c)=2024633$  元,同时可得相关决策变量的最优解,如表 5-4 所示。

表 5-4 0-1 变量的最优解

0-1 变量	$\alpha_2$	$\alpha_7$	$\beta_{11}$	$\beta_{12}$	$\beta_{15}$	$\beta_{17}$	$\chi_1$	$\chi_2$	$\chi_3$
最优值	0	0	0	1	0	0	0	0	0

0-1 变量	$x_7$	$x_9$	$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$	$x_{15}$	$x_{17}$	$\delta_3$	$\delta_5$
最优值	0	1	0	1	0	0	0	0	1

其它决策变量为：

$$\begin{aligned}
 &x_{17}^1=22110, x_{1,12}^2=30000; y_{72}^1=2670, y_{74}^1=1750, y_{75}^1=1660, y_{7,11}^1=6700, y_{7,12}^1=4420, \\
 &y_{7,13}^1=4910; y_{12,1}^2=3700, y_{12,2}^2=200, y_{12,3}^2=1830, y_{12,6}^2=580, y_{12,7}^2=5080, y_{12,8}^2=1000, \\
 &y_{12,9}^2=1230, y_{12,10}^2=3580, y_{12,14}^2=5500, y_{12,15}^2=2250, y_{12,16}^2=3750, y_{12,17}^2=1300; z_{19}=1, \\
 &z_{29}=1722, z_{49}=1050, z_{59}=996, z_{10,9}=2148, z_{11,9}=4020, z_{12,9}=2652, z_{13,9}=2946, \\
 &z_{14,9}=3300; z_{1,12}=2218, z_{3,12}=1098, z_{6,12}=348, z_{7,12}=3048, z_{8,12}=600, z_{9,12}=738, \\
 &z_{15,12}=1350, z_{16,12}=2250, z_{17,12}=780; p_{91}^2=7534, p_{12,1}^2=4972; q_{91}^1=1267, q_{95}^2=2500, \\
 &q_{12,9}^1=2486;
 \end{aligned}$$

根据所求得的变量值，可确定 D1 为工厂所在地，不需要再新建工厂；D1、D2、D3、D7、D12 为分销中心，其中 D12 为新建的分销中心；D9、D12 作为新建的回收中心；D1、D9、D5 为废弃物处理中心，其中 D5 为建新的废旧物处理中心。

由工厂 D1 运往分销中心 D7、D12 的产品数量分别为 22110、30000；由分销中心 D7 运往消费区域 D2、D4、D5、D11、D12、D13 的产品数量分别为 2670、1750、1660、6700、4420、4910；由分销中心 D12 运往消费区域 D1、D2、D3、D6、D7、D8、D9、D10、D14、D15、D16、D17 的产品数量分别为 3700、200、1830、580、5080、1000、1230、3580、5500、2250、3750、1300；由消费区域 D1、D2、D4、D5、D10、D11、D12、D13、D14 运往回收中心 D9 的废旧产品数量分别为 1、1722、1050、996、2148、4020、2652、946、3300；由消费区域 D1、D3、D6、D7、D8、D9、D15、D16、D17 运往回收中心 D12 的废旧产品数量分别为 2218、1098、348、3048、600、738、1350、2250、780；由回收中心 D9、D12 运往工厂 D1 的可再制造产品的数量为 7534、4972；由回收中心 D9 运往废弃物处置中心 D1、D5 的废旧产品数量分别为 1267、2500，由回收中心 D12 运往废弃物处置中心 D9 的废旧产品数量为 2486。

## 结 论

逆向物流，可说是目前物流研究中最新的课题之一。近几年，逆向物流开始受到企业界、理论界的重视。“逆向物流也许是企业在降低成本中的最后一块处女地了。”西尔斯负责物流的执行副总裁曾这样说。国外的一篇商业评论也指出，“企业逆向物流中所孕育的未知机会，直到现在还少有企业考虑过。”而美国物流管理协会的资深专家、南佛罗里达大学教授詹姆斯·司多克对逆向物流的描述更为精辟，“公司对逆向物流如何处置，已经成为一项标新立异的竞争战略，并正成为提高效率的全新领域。”

面对有限的资源，废旧家电的回收和处理可以有效的实现资源的优化利用、环境保护和经济可持续发展的综合目标，废旧电器的回收和处理已经成为一个世界性的课题，我国同样也面临着对废旧电器回收和处理的巨大压力。开展废旧家电回收与再利用已是我国家电业改革的一个重要课题，它是关系环境保护、家电工业可持续发展以及与国际接轨的重大问题。随着我国进入家用电器更新换代的高峰期，废旧家电的回收与再利用问题已迫在眉睫，但是我国还没有建立完善有效的废旧电器回收处理体系。

本文首先介绍了我国逆向物流产生的背景以及研究此课题的意义，分析了国内外研究现状，对国内外相关理论进行了介绍。第二章主要介绍了逆向物流的相关概念，包括其定义，分类，产生的原因以及与其他物流概念的比较，然后对废旧家电逆向物流进行了简要概述。第三章首先从逆向物流的结构特征出发，从不同的角度对逆向物流系统做了分类研究，然后从逆向物流网络着手，分析了逆向物流网络的构建环境、网络特征和网络的类型。第四章探讨了废旧家电产品逆向物流网络的规划设计，然后在此基础上建立了混合整数线性规划(Mix Integer Linear Programming, MILP)模型，并用此模型对集成物流系统网络的设施选址进行决策。第五章以某地区某冰箱制造厂为例，运用上述模型对该厂在该地区的集成物流网络进行了规划，并运用 lingo8.0 软件对该模型进行求解。

逆向物流网络自身的特点决定了逆向物流网络规划要比一般的正向物流网络复杂得多。本文对废旧家电产品逆向物流网络规划作了一些初步的研究，还存在许多需要继续深入研究的问题。

在构建逆向网络模型时，本文主要考虑了单一品种的产品回收。事实上，在逆向物流的网络中还存在多品种的产品回收。如能在同一网络中回收多种产品，将能更好的节省费用，可见多品种产品回收网络优化设计值得进一步的探讨和研究。

逆向物流网络中的环节构成比较复杂，本文主要考虑了网络中的主要部分，相应的费用构成也忽略了次要的费用。在实践中，由于逆向物流网络的复杂性，库存问题也比较复杂，它影响着生产与再生产，因此需要考虑新产品和再制造产品的

库存等对网络规划产生的影响。同时还要考虑产品的回收率、数量及质量等不确定因素对物流网络规划的影响。

废旧家电产品的回收和处理在我国是新的课题，生产者延伸责任制度实施后，向生产者应该如何征收费用以及在逆向物流系统中收集者、回收点、拆解厂和处理设施之间的补贴如何发放，各个地区之间如何协调新建设施的位置和数目都将成为废旧家电产品回收和处理中需要进一步研究的问题。

本文旨在为逆向物流这一新兴学术领域的研究作一次探索和尝试，但由于作者水平有限，文章中还存在许多不足之处，恳请各位专家和学者批评指正。

## 致 谢

经过近一年的努力，我的硕士学位论文《家电企业逆向物流网络规划研究》终于完成了。回首这两年来研究生生活的时光，要感谢的话实在是太多、太多！

首先要感谢我的导师赵刚教授。在研究生期间，赵老师在学习和生活上都给予了我无微不至的关怀。在论文的研究和撰写过程中，赵老师从百忙中抽出时间，与我共同探讨论文的选题、组织结构，帮助我理清思路，数次阅稿并提出了宝贵意见。导师严谨的作风和认真负责的态度深深地影响了我，并使我终身受益。

我要感谢上海海事大学给我授课的各位老师，你们传授传授给了我宝贵的知识，这些知识为我的研究和以后的工作奠定了坚实的基础。

在论文的写作过程中，引用了大量的参考文献，极大地拓宽了我的思路，在此向这些作者致以诚挚的谢意。

最后感谢我的家人，是你们给了我无限的支持和关爱，为了我的成长默默地做出牺牲和贡献。还有给予我关心、帮助和鼓励的同学和朋友们，是你们伴随我度过了两年快乐的时光，在这里向你们表示衷心的感谢。

## 参考文献

- [1] 骆温平.《第三方物流》,上海社会科学出版社出版 2001 年 3 月
- [2] 马士华,林勇,陈志祥.《供应链管理》,机械工业出版社 2000 年 5 月
- [3] 张友良.回收利用废电子电器利国利民,电子电器科技,2000,7:14-15.
- [4] 杨答慧编译.日本回收家电再利用的启示.电子电器科技,2000 6 :10-13.
- [5] Gultinan J P, Nwokoye N G. Developing distribution channels and system in the emerging recycling industries. *International Journal of Physical Distribution*, 1975, 6(1): 28-38.
- [6] Fleischmann M, Hans Ronald Krikke, Rommert Dekker, Simme Douwe P. Flapper. A characterization of logistics networks for product recovery. *Omega*, 2000, 28(6):653-666.
- [7] Fleischmann M. Reverse logistics Network Structures and Design. ERIM Report Series Research In Management ERS-2001-52-LIS Erasmus University Rotterdam, The Netherlands 2001.
- [8] Harold Krikke, Costas P.Pappis, Giannis T.Tsoufias Jacquetine Bloemhof. Design Principles for Closed Loop Supply Chain: Optimizing Economic Logistic And Environmental Performance. ERIM Report Series Research in Management ERS-2001-62-LIS, The Netherlands 2001.
- [9] Fleischmann M, Jo Van Nunen, Ben Grave. Integrating closed-loop Supply Chains and Spare Parts Management at IBM[R].ERIM Report Series Research in Management, 2002, ERS-2002-107-LIS, Erasmus University Rotterdam, the Netherlands, 2002.
- [10] Del Castillo E, Cochran J K. Optimal short horizon distribution operations in reusable container systems. *Journal of Operational Research Society*, 1996, 47(1): 4860.
- [11] Krikke H R, van Harten A, Schuur P C .Business case Océ: reverse logistic network re-design for copiers. *OR Spektrum*, 1999, 21(3): 381-409.
- [12] Jayaraman V, Guide Jr VDR, Srivastava R. A closed-loop logistics model for remanufacturing. *Journal of the Operational Research Society*, 1999, 50(5): 497-508.
- [13] Louwers D, Kip B J, Peters E, Souren F, Flapper S D P. A facility location allocation model for re-using carpet materials. *Computers and Industrial Engineering*, 1999, 36(4): 855-869.
- [14] Spengler T, Puchert H, Penkuhn T, Rentz O. Environmental integrated production



- and recycling management. *European Journal of Operational Research*, 1997, 97(2): 308-326.
- [15]Listes O, Dekker R. Stochastic approaches for product recovery network design: A case study[R]. *Econometric Institute Report Series EI 2001-08*, Erasmus University Rotterdam, The Netherlands, 2001.
- [16]A.LBarros, R.dekker,V scholten. A two-level network for recycling sand: A case study. *European Journal of Operational Research*, 1998, 110:199-214.
- [17]Berger T, Debaillie B. Location of disassembly centers for re-use to extend an existing distribution network. Unpublished Masters thesis, University of Leuven, Belgium(in Dutch), 1997.
- [18]Bernd E. Hirsch, of recycling networks. Thorsten Kuhlmann, Jens Schumacher. *Logistics simulation Computers in Industry*, 1998, 36(1-2): 31-38.
- [19]Pohlen T L} Farris II M. Reverse logistics in plastic recycling. *International Journal of Physical Distribution&Logistics Management* 1992 22(7): 35-47.
- [20]夏绪辉, 刘飞, 尹超, 高全杰.供应链、逆向供应链管理与企业集成.计算 2003, 9(8):652 -656.
- [21]马祖军, 代颖, 张殿业. 逆向物流网络结构与设计.物流技术, 2004 4:12-14.
- [22]朱道立, 崔益明, 陈妹妮.逆向物流系统和技术.复旦学报(自然科学版), 2003, 42(5):673 -679.
- [23]达庆利, 黄祖庆, 张钦. 逆向物流系统结构研究的现状及展望.中国管理科学, 2004,12(1):131-138.
- [24]夏守长, 奚立峰.再制造物流网络的研究现状及发展趋势.工业工程与管理, 2002,5:20-24.
- [25]马祖军, 代颖, 刘飞. 再制造物流网络的稳健优化设计.系统工程, 2005,23(1): 74-78.
- [26]顾巧论, 陈秋双.再制造/制造系统集成物流网络及信息网络研究.计算机集成制造系统, 2004,10(7) :721-726.
- [27]顾巧论, 陈秋双.再制造/制造系统集成物流网络扩展模型研究.信息与控制, 2004,33(5):618-622.
- [28] Vaidyanathan Jayaraman, Raymond A. Patterson and Erik Rolland. The Design of Reverse Distribution Networks: Models and Solution Procedures [J].*European Journal of Operational Research*, 2003, 150( 1):128-149.
- [29] Fleischmann.M., Krikke. H. R., A Characterisation of Logistics Networks for Product, Recovery Management Report Series 17(99), 1999, Erasmus University Rotterdam The Netherlands.
- [30]徐燕.逆向物流管理研究[D]. 对外经济贸易大学硕士学位论文, 2004, 07.

- [31]胡继灵, 方青. 供应链的逆向物流管理[J]. 物流技术, 2004(1):47-48.
- [32]郑晓娣, 季建华. 逆向物流的概念和分类研究[J]. 技术经济与管理研究, 2004, (1).
- [33]韩经纶, 杜培枫. 论逆向物流的成因及战略价值[J]. 经济问题, 2004, (2)
- [34]柳键. 供应链的逆向物流管理[J]. 商业经济与管理, 2002(6):11-13.
- [35]马健平, 贾艳廷. 现代物流配送管理[M]. 广州中山大学出版社, 2000
- [36]黄芳, 李宗平. 可再用运输包装容器的逆向物流网络优化设计[J]. 物流技术 2005.4.
- [37]曾凡婷, 孙蛟. 浅析逆向物流——逆向物流、正向物流与环保物流比较[J]. 物流技术, 2003(10): 9-13.
- [38]赵虹, 李大成. 电子垃圾的危害及处理方法探讨[J]. 黑龙江环境通报, 2005, 29(4):98.
- [39]谢家平, 陈荣秋. 产品回收处理逆向物流的成本——效益分析模型[J]. 中国流通经济, 2003(1): 25-28.
- [40] Spengler T, bulk Ploog M, Schroter M. Integrated planning of acquisition, disassembly and recycling: a case study on electronic scrap recovery[J].OR Spectrum 2003, 25: 413-442.
- [41] DeCroix, Gp.Zipkin (2002). Inventory management for an assembly System with Product or component returns.
- [42] D.p.Heyman(1977). Optimal disposal policies for single-item inventory System with returns. Naval Res.Logist .Quarterly 24385-405.
- [43]朱道立, 崔益明, 陈姝妮. 逆向物流系统和技术[J]. 复旦学报, 2003(10).
- [44]冷杰, 熊寿刚. 再制造逆向物流网络选址模型研究[J]. 物流技术, 2005.5.
- [45]张贝. 逆向物流网络设计复杂性分析及研究现状[J]. 物流技术, 2005.12.
- [46] Li-Hsing Shih. Reverse logistics system planning for recycling electrical appliances and computers in Taiwan. Resources. Conservation and Recycling, 2001, 32:55-72.

## 附录

运用 lingo8.0 求解废旧家电逆向物流网络模型程序编码:

$$\begin{aligned}
 & \max = 61 * (p1d1 + p1d2 + p1d7 + p2d1 + p2d2 + p2d7 + p3d1 + p3d2 + p3d7 + p7d1 + p7d2 + p7d7 + p9d1 + p9d2 + p9d7 + p11d1 + p11d2 + p11d7 + p12d1 + p12d2 + p12d7 + p13d1 + p13d2 + p13d7 + p15d1 + p15d2 + p15d7 + p17d1 + p17d2 + p17d7) \\
 & + \\
 & 40800 * (y1d1 + y2d1 + y3d1 + y7d1 + y11d1 + y12d1 + y15d1 + y17d1 + y1d2 + y2d2 + y3d2 + y7d2 + y11d2 + y12d2 + y15d2 + y17d2 + y1d3 + y2d3 + y3d3 + y7d3 + y11d3 + y12d3 + y15d3 + y17d3 + y1d4 + y2d4 + y3d4 + y7d4 + y11d4 + y12d4 + y15d4 + y17d4 + y1d5 + y2d5 + y3d5 + y7d5 + y11d5 + y12d5 + y15d5 + y17d5 + y1d6 + y2d6 + y3d6 + y7d6 + y11d6 + y12d6 + y15d6 + y17d6 + y1d7 + y2d7 + y3d7 + y7d7 + y11d7 + y12d7 + y15d7 + y17d7 + y1d8 + y2d8 + y3d8 + y7d8 + y11d8 + y12d8 + y15d8 + y17d8 + y1d9 + y2d9 + y3d9 + y7d9 + y11d9 + y12d9 + y15d9 + y17d9 + y1d10 + y2d10 + y3d10 + y7d10 + y11d10 + y12d10 + y15d10 + y17d10 + y1d11 + y2d11 + y3d11 + y7d11 + y11d11 + y12d11 + y15d11 + y17d11 + y1d12 + y2d12 + y3d12 + y7d12 + y11d12 + y12d12 + y15d12 + y17d12 + y1d13 + y2d13 + y3d13 + y7d13 + y11d13 + y12d13 + y15d13 + y17d13 + y1d14 + y2d14 + y3d14 + y7d14 + y11d14 + y12d14 + y15d14 + y17d14 + y1d15 + y2d15 + y3d15 + y7d15 + y11d15 + y12d15 + y15d15 + y17d15 + y1d16 + y2d16 + y3d16 + y7d16 + y11d16 + y12d16 + y15d16 + y17d16 + y1d17 + y2d17 + y3d17 + y7d17 + y11d17 + y12d17 + y15d17 + y17d17) \\
 & + \\
 & 200 * (p1d1 + p1d2 + p1d7 + p2d1 + p2d2 + p2d7 + p3d1 + p3d2 + p3d7 + p7d1 + p7d2 + p7d7 + p9d1 + p9d2 + p9d7 + p11d1 + p11d2 + p11d7 + p12d1 + p12d2 + p12d7 + p13d1 + p13d2 + p13d7 + p15d1 + p15d2 + p15d7 + p17d1 + p17d2 + p17d7) \\
 & - \\
 & 1000000 * (a2 + a7) - \\
 & 100000 * (b11 + b12 + b15 + b17) - \\
 & 100000 * (c1 + c2 + c3 + c7 + c9 + c11 + c12 + c13 + c15 + c17) - \\
 & 200000 * (e3 + e5) \\
 & - \\
 & 2000 * (x1d1 + x1d2 + x1d3 + x1d7 + x1d11 + x1d12 + x1d15 + x1d17 + x2d1 + x2d2 + x2d3 + x2d7 + x2d11 + x2d12 + x2d15 + x2d17 + x7d1 + x7d2 + x7d3 + x7d7 + x7d11 + x7d12 + x7d15 + x7d17) \\
 & - \\
 & 10 * (x1d1 + x1d2 + x1d3 + x1d7 + x1d11 + x1d12 + x1d15 + x1d17 + x2d1 + x2d2 + x2d3 + x2d7 + x2d11 + x2d12 + x2d15 + x2d17 + x7d1 + x7d2 + x7d3 + x7d7 + x7d11 + x7d12 + x7d15 + x7d17) \\
 & - \\
 & 20 * (z1d1 + z2d1 + z3d1 + z4d1 + z5d1 + z6d1 + z7d1 + z8d1 + z9d1 + z10d1 + z11d1 + z12d1 + z13d1 + z14d1 + z15d1 + z16d1 + z17d1 + z1d2 + z2d2 + z3d2 + z4d2 + z5d2 + z6d2 + z7d2 + z8d2 + z9d2 + z10d2 + z11d2 + z12d2 + z13d2 + z14d2 + z15d2 + z16d2 + z17d2 + z1d3 + z2d3 + z3d3 + z4d3 + z5d3 + z6d3 + z7d3 + z8d3 + z9d3 + z10d3 + z11d3 + z12d3 + z13d3 + z14d3 + z15d3 + z16d3 + z17d3 + z1d7 + z2d7 + z3d7 + z4d7 + z5d7 + z6d7 + z7d7 + z8d7 + z9d7 + z10d7 + z11d7 + z12d7 + z13d7 + z14d7 + z15d7 + z16d7 + z17d7 + z1d9 + z2d9 + z3d9 + z4d9 + z5d9 + z6d9 + z7d9 + z8d9 + z9d9 + z10d9 + z11d9 + z12d9 + z13d9 + z14d9 + z15d9 + z16d9 + z17d9 + z1d11 + z2d11 + z3d11 + z4d11 + z5d11 + z6d11 + z7d11 + z8d11 + z9d11 + z10d11 + z11d11 + z12d11 + z13d11 + z14d11 + z15d11 + z16d11)
 \end{aligned}$$

$$1+z17d11+z1d12+z2d12+z3d12+z4d12+z5d12+z6d12+z7d12+z8d12+z9d12+z10d12+z11d12+z12d12+z13d12+z14d12+z15d12+z16d12+z17d12+z1d13+z2d13+z3d13+z4d13+z5d13+z6d13+z7d13+z8d13+z9d13+z10d13+z11d13+z12d13+z13d13+z14d13+z15d13+z16d13+z17d13+z1d15+z2d15+z3d15+z4d15+z5d15+z6d15+z7d15+z8d15+z9d15+z10d15+z11d15+z12d15+z13d15+z14d15+z15d15+z16d15+z17d15+z1d17+z2d17+z3d17+z4d17+z5d17+z6d17+z7d17+z8d17+z9d17+z10d17+z11d17+z12d17+z13d17+z14d17+z15d17+z16d17+z17d17)$$

$$4.8*(q1d1+q2d1+q3d1+q7d1+q9d1+q11d1+q12d1+q13d1+q15d1+q17d1+q1d9+q2d9+q3d9+q7d9+q9d9+q11d9+q12d9+q13d9+q15d9+q17d9+q1d3+q2d3+q3d3+q7d3+q9d3+q11d3+q12d3+q13d3+q15d3+q17d3+q1d5+q2d5+q3d5+q7d5+q9d5+q11d5+q12d5+q13d5+q15d5+q17d5)$$

$$3.042*x1d2+2.376*x1d3+3.42*x1d7+4.32*x1d11+5.67*x1d12+3.744*x1d15+4.554*x1d17+3.042*x2d1+5.418*x2d3+6.48*x2d7+3.42*x7d1+6.48*x7d2+4.86*x7d3+3.24*x2d11+3.51*x2d12+6.84*x2d15+7.29*x2d17+6.75*x7d11+8.55*x7d12+5.04*x7d15+1.17*x7d17$$

$$3.042*y2d1+2.376*y3d1+3.42*y7d1+4.32*y11d1+5.67*y12d1+3.744*y15d1+4.554*y17d1+3.042*y1d2+5.418*y3d2+6.48*y7d2+3.24*y11d2+5.67*y12d2+6.84*y15d2+7.29*y17d2+2.376*y1d3+5.418*y2d3+4.86*y7d3+6.75*y11d3+8.1*y12d3+1.26*y15d3+3.69*y17d3+1.98*y1d4+1.044*y2d4+4.32*y3d4+5.4*y7d4+2.16*y11d4+3.24*y12d4+5.724*y15d4+6.48*y17d4+5.58*y1d5+2.61*y2d5+7.956*y3d5+9*y7d5+2.7*y11d5+2.43*y12d5+9.18*y15d5+10.08*y17d5+2.52*y1d6+5.562*y2d6+2.16*y3d6+2.7*y7d6+6.84*y11d6+8.64*y12d6+3.06*y15d6+0.99*y17d6+3.42*y1d7+6.48*y2d7+4.86*y3d7+6.75*y11d7+8.55*y12d7+5.04*y15d7+1.17*y17d7+2.52*y1d8+5.58*y2d8+1.08*y3d8+5.94*y7d8+6.84*y11d8+8.19*y12d8+2.34*y15d8+4.23*y17d8+5.84*y1d9+8.82*y2d9+4.86*y3d9+4.14*y7d9+10.89*y11d9+12.69*y12d9+3.474*y15d9+2.61*y17d9+2.718*y1d10+2.88*y2d10+5.04*y3d10+6.03*y7d10+5.67*y11d10+6.39*y12d10+6.3*y15d10+7.11*y17d10+4.32*y1d11+3.24*y2d11+6.75*y3d11+6.75*y7d11+1.872*y12d11+7.92*y15d11+7.92*y17d11+5.67*y1d12+3.51*y2d12+8.1*y3d12+8.55*y7d12+1.872*y11d12+9.36*y15d12+9.72*y17d12+4.68*y1d13+1.656*y2d13+7.02*y3d13+8.1*y7d13+2.52*y11d13+1.98*y12d13+8.46*y15d13+9.18*y17d13+1.422*y1d14+4.464*y2d14+3.78*y3d14+3.42*y7d14+2.88*y11d14+4.68*y12d14+5.166*y15d14+4.32*y17d14+3.744*y1d15+6.84*y2d15+1.26*y3d15+5.04*y7d15+7.92*y11d15+9.36*y12d15+3.78*y17d15+1.188*y1d16+3.96*y2d16+1.188*y3d16+5.508*y7d16+5.508*y11d16+6.84*y12d16+2.556*y15d16+5.04*y17d16+4.554*y1d17+7.29*y2d17+3.69*y3d17+1.17*y7d17+7.92*y11d17+9.72*y12d17+3.78*y15d17$$

$$3.042*z2d1+2.376*z3d1+1.98*z4d1+5.58*z5d1+2.52*z6d1+3.42*z7d1+2.52*z8d1+5.85*z9d1+2.718*z10d1+4.32*z11d1+6.7*z12d1+4.68*z13d1+1.422*z14d1+3.744*z15d1+1.188*z16d1+4.554*z17d1+3.042*z1d2+5.418*z3d2+1.044*z4d2+2.61*z5d2+5.562*z6d2+6.48*z7d2+5.58*z8d2+8.82*z9d2+2.88*z10d2+3.24*z11d2+3.51*z12d2+1.656*z13d2+4.464*z14d2+6.84*z15d2+3.96*z16d2+7.29*z17d2+2.376*z1d3+5.418*z2d3+4.32*z4d3+7.956*z5d3+2.16*z6d3+4.86*z7d3+1.08*z8d3+4.86*z9d3+5.04*z10d3+6.75*z11d3+8.1*z12d3+7.02*z13d3+3.78*z14d3+1.26*z15d3+1.188*z16d3+3.69*z17d3+3.42*z1d7+6.48*z2d7+4.86*z3d7+5.4*z4d7+9*z5d7+2.7*z6d7+5.94*z8d7+4.14*z9d7+6.03*z10d7+6.75*z11d7+8.55*z12d7+8.1*z13d7+3.42*z14d7+5.04*z15d7+5.508*z16d7+1.17*z17d7+5.85*z1d9+8.82*z2d9+4.86*z3d9+7.83*z4d9+11.43*z5d9+2.88*z6d9+4.14*z7d9+5.94*z8d9+9.72*z10d9+10.89*z11d9+12.69*z12d9+10.53*z13d9+7.2*z14d9+3.747*z15d9+6.03*z16d9+2.61*z17d9+4.32*z1d11+3.24*z2d11+6.75*z3d11+2.16*z4d11+2.7*z5d11+6.84*z6d11+6.75*z7d11+6.84*z8d11+$$

$10.89*z9d11+5.67*z10d11+1.872*z12d11+2.52*z13d11+2.88*z14d11+7.92*z15d11+5.508*z16d11$   
 $+7.92*z17d11+5.67*z1d12+3.51*z2d12+8.1*z3d12+3.24*z4d12+2.43*z5d12+8.64*z6d12+8.55*z7d$   
 $12+8.19*z8d12+12.69*z9d12+6.39*z10d12+1.872*z11d12+1.98*z13d12+4.68*z14d12+9.36*z15d1$   
 $2+6.84*z16d12+9.72*z17d12+4.68*z1d13+1.656*z2d13+7.02*z3d13+2.7*z4d13+0.954*z5d13+7.2$   
 $9*z6d13+8.1*z7d13+7.2*z8d13+10.53*z9d13+4.5z10d13+2.52*z11d13+1.98*z12d13+6.102*z14d1$   
 $3+8.46*z15d13+5.85*z16d13+9.18*z17d13+3.744*1d15+6.84*z2d15+1.26*z3d15+5.724*z4d15+9.$   
 $18*z5d15+3.06*z6d15+5.04*z7d15+2.43*z8d15+3.474*z9d15+6.3*z10d15+7.92*z11d15+9.36*z12$   
 $d15+8.46*z13d15+5.166*z14d15+2.556*z16d15+3.78*z17d15+4.554*z1d17+7.29*z2d17+3.69*z3d$   
 $17+6.48*z4d17+10.08*z5d17+0.99*z6d17+1.17*z7d17+4.23*z8d17+2.61*z9d17+7.11*z10d17+7.9$   
 $2*z11d17+9.72*z12d17+9.18*z13d17+4.32*z14d17+3.78*z15d17+5.04*z16d17$

$3.042*p2d1+2.376*p3d1+3.42*p7d1+5.85*p9d1+4.32*p11d1+5.67*p12d1+4.68*p13d1+3.744*p15d$   
 $1+4.554*p17d1+3.042*p1d2+5.418*p3d2+6.48*p7d2+8.82*p9d2+3.24*p11d2+3.51*p12d2+1.656*p$   
 $13d2+6.84*p15d2+7.29*p17d2+3.24*p1d7+6.48*p2d7+4.86*p3d7+4.4*p9d7+6.75*p11d7+8.55*p12$   
 $d7+8.1*p13d7+5.04*p15d7+1.17*p17d7$

$3.042*q2d1+2.376*q3d1+3.42*q7d1+5.85*q9d1+4.32*q11d1+5.67*q12d1+4.68*q13d1+3.744*q15d$   
 $1+4.554*q17d1+5.85*q1d9+8.82*q2d9+4.86*q3d9+4.14*q7d9+10.89*q11d9+12.69*q12d9$   
 $+10.53*q13d9+3.474*q15d9+2.61*q17d9+2.376*q1d3+5.418*q2d3+4.86*q7d3+4.86*q9d3$   
 $+6.75*q11d3+8.1*q12d3+7.02*q13d3+1.26*q15d3+3.69*q17d3+5.58*q1d5+2.61*q2d5+$   
 $7.9506*q3d5+9*q7d5+11.43*q9d5+2.7*q11d5+2.43*q12d5+0.954*q13d5+9.18*q15d5+$   
 $10.08*q17d5$

$2.52*(p1d1+p1d2+p1d7)+5.58*(p2d1+p2d2+p2d7)+1.08*(p3d1+p3d2+p3d7)+5.94*(p7d1+p7d2+p7$   
 $d7)+5.94*(p9d1+p9d2+p9d7)+6.84*(p11d1+p11d2+p11d7)+8.19*(p12d1+p12d2+p12d7)+7.2*(p13d$   
 $1+p13d2+p13d7)+2.43*(p15d1+p15d2+p15d7)+4.23*(p17d1+p17d2+p17d7);$

$a2>=0; a2<=1; @gin(a2); a7>=0; a7<=1; @gin(a7); b11>=0; b11<=1; @gin(b11); b12>=0; b12<=1;$   
 $@gin(b12); b15>=0; b15<=1; @gin(b15); b17>=0; b17<=1; @gin(b15); c1>=0; c1<=1;$   
 $@gin(c1); c2>=0; c2<=1; @gin(c2); c3>=0; c3<=1; @gin(c3); c7>=0; c7<=1; @gin(c7); c9>=0;$   
 $c9<=1; @gin(c9); c11>=0; c11<=1; @gin(c11); c12>=0; c12<=1; @gin(c12);$   
 $c13>=0; c13<=1; @gin(c13); c15>=0; c15<=1; @gin(c15); c17>=0; c17<=1; @gin(c17); e3>=0;$   
 $e3<=1; @gin(e3); e5>=0; e5<=1; @gin(e5);$

$x1d1+x1d2+x1d3+x1d7+x1d11+x1d12+x1d15+x1d17<=200000;$

$x2d1+x2d2+x2d3+x2d7+x2d11+x2d12+x2d15+x2d17<=200000*a2;$

$x7d1+x7d2+x7d3+x7d7+x7d11+x7d12+x7d15+x7d17<=200000*a7;$

$y1d1+y1d2+y1d3+y1d4+y1d5+y1d6+y1d7+y1d8+y1d9+y1d10+y1d11+y1d12+y1d13+y1d14+y1d15$   
 $+y1d16+y1d17<=30000;$

$y2d1+y2d2+y2d3+y2d4+y2d5+y2d6+y2d7+y2d8+y2d9+y2d10+y2d11+y2d12+y2d13+y2d14+y2d15$   
 $+y2d16+y2d17<=30000;$

$y3d1+y3d2+y3d3+y3d4+y3d5+y3d6+y3d7+y3d8+y3d9+y3d10+y3d11+y3d12+y3d13+y3d14+y3d15$   
 $+y3d16+y3d17<=30000;$

$y7d1+y7d2+y7d3+y7d4+y7d5+y7d6+y7d7+y7d8+y7d9+y7d10+y7d11+y7d12+y7d13+y7d14+y7d15$   
 $+y7d16+y7d17<=30000$

$$\begin{aligned}
& y11d1+y11d2+y11d3+y11d4+y11d5+y11d6+y11d7+y11d8+y11d9+y11d10+y11d11+y11d12+y11d13 \\
& +y11d14+y11d15+y11d16+y11d17 \leq 30000*b11; \\
& y12d1+y12d2+y12d3+y12d4+y12d5+y12d6+y12d7+y12d8+y12d9+y12d10+y12d11+y12d12+y12d1 \\
& 3+y12d14+y12d15+y12d16+y12d17 \leq 30000*b12; \\
& y15d1+y15d2+y15d3+y15d4+y15d5+y15d6+y15d7+y15d8+y15d9+y15d10+y15d11+y15d12+y15d1 \\
& 3+y15d14+y15d15+y15d16+y15d17 \leq 30000*b15; \\
& y17d1+y17d2+y17d3+y17d4+y17d5+y17d6+y17d7+y17d8+y17d9+y17d10+y17d11+y17d12+y17d1 \\
& 3+y17d14+y17d15+y17d16+y17d17 \leq 30000*b17; \\
& z1d1+z2d1+z3d1+z4d1+z5d1+z6d1+z7d1+z8d1+z9d1+z10d1+z11d1+z12d1+z13d1+z14d1+z15d1+z \\
& 16d1+z17d1 \leq 30000*c1; \\
& z1d2+z2d2+z3d2+z4d2+z5d2+z6d2+z7d2+z8d2+z9d2+z10d2+z11d2+z12d2+z13d2+z14d2+z15d2+z \\
& 16d2+z17d2 \leq 30000*c2; \\
& z1d3+z2d3+z3d3+z4d3+z5d3+z6d3+z7d3+z8d3+z9d3+z10d3+z11d3+z12d3+z13d3+z14d3+z15d3+z \\
& 16d3+z17d3 \leq 30000*c3; \\
& z1d7+z2d7+z3d7+z4d7+z5d7+z6d7+z7d7+z8d7+z9d7+z10d7+z11d7+z12d7+z13d7+z14d7+z15d7+z \\
& 16d7+z17d7 \leq 30000*c7; \\
& z1d9+z2d9+z3d9+z4d9+z5d9+z6d9+z7d9+z8d9+z9d9+z10d9+z11d9+z12d9+z13d9+z14d9+z15d9+z \\
& 16d9+z17d9 \leq 30000*c9; \\
& z1d11+z2d11+z3d11+z4d11+z5d11+z6d11+z7d11+z8d11+z9d11+z10d11+z11d11+z12d11+z13d11+z \\
& 14d11+z15d11+z16d11+z17d11 \leq 30000*c11; \\
& z1d12+z2d12+z3d12+z4d12+z5d12+z6d12+z7d12+z8d12+z9d12+z10d12+z11d12+z12d12+z13d12 \\
& +z14d12+z15d12+z16d12+z17d12 \leq 30000*c12; \\
& z1d13+z2d13+z3d13+z4d13+z5d13+z6d13+z7d13+z8d13+z9d13+z10d13+z11d13+z12d13+z13d13 \\
& +z14d13+z15d13+z16d13+z17d13 \leq 30000*c13; \\
& z1d15+z2d15+z3d15+z4d15+z5d15+z6d15+z7d15+z8d15+z9d15+z10d15+z11d15+z12d15+z13d15 \\
& +z14d15+z15d15+z16d15+z17d15 \leq 30000*c15; \\
& z1d17+z2d17+z3d17+z4d17+z5d17+z6d17+z7d17+z8d17+z9d17+z10d17+z11d17+z12d17+z13d17 \\
& +z14d17+z15d17+z16d17+z17d17 \leq 30000*c17; \\
& q1d1+q2d1+q3d1+q7d1+q9d1+q11d1+q12d1+q13d1+q15d1+q17d1 \leq 2500; \\
& q1d9+q2d9+q3d9+q7d9+q9d9+q11d9+q12d9+q13d9+q15d9+q17d9 \leq 2500; \\
& q1d3+q2d3+q3d3+q7d3+q9d3+q11d3+q12d3+q13d3+q15d3+q17d3 \leq 2500*e3; \\
& q1d5+q2d5+q3d5+q7d5+q9d5+q11d5+q12d5+q13d5+q15d5+q17d5 \leq 2500*e5 \\
& y1d1+y2d1+y3d1+y7d1+y11d1+y12d1+y15d1+y17d1 \leq 3700; \\
& y1d2+y2d2+y3d2+y7d2+y11d2+y12d2+y15d2+y17d2 \leq 2870; \\
& y1d3+y2d3+y3d3+y7d3+y11d3+y12d3+y15d3+y17d3 \leq 1830; \\
& y1d4+y2d4+y3d4+y7d4+y11d4+y12d4+y15d4+y17d4 \leq 1750; \\
& y1d5+y2d5+y3d5+y7d5+y11d5+y12d5+y15d5+y17d5 \leq 1660; \\
& y1d6+y2d6+y3d6+y7d6+y11d6+y12d6+y15d6+y17d6 \leq 580; \\
& y1d7+y2d7+y3d7+y7d7+y11d7+y12d7+y15d7+y17d7 \leq 5080; \\
& y1d8+y2d8+y3d8+y7d8+y11d8+y12d8+y15d8+y17d8 \leq 1000; \\
& y1d9+y2d9+y3d9+y7d9+y11d9+y12d9+y15d9+y17d9 \leq 1230; \\
& y1d10+y2d10+y3d10+y7d10+y11d10+y12d10+y15d10+y17d10 \leq 3580; \\
& y1d11+y2d11+y3d11+y7d11+y11d11+y12d11+y15d11+y17d11 \leq 6700; \\
& y1d12+y2d12+y3d12+y7d12+y11d12+y12d12+y15d12+y17d12 \leq 4420;
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& y1d13+y2d13+y3d13+y7d13+y11d13+y12d13+y15d13+y17d13 \leq 4910; \\
& y1d14+y2d14+y3d14+y7d14+y11d14+y12d14+y15d14+y17d14 \leq 5500; \\
& y1d15+y2d15+y3d15+y7d15+y11d15+y12d15+y15d15+y17d15 \leq 2250; \\
& y1d16+y2d16+y3d16+y7d16+y11d16+y12d16+y15d16+y17d16 \leq 3750; \\
& y1d17+y2d17+y3d17+y7d17+y11d17+y12d17+y15d17+y17d17 \leq 1300; \\
& z1d1+z1d2+z1d3+z1d7+z1d9+z1d11+z1d12+z1d13+z1d15+z1d17 \leq 2220; \\
& z2d1+z2d2+z2d3+z2d7+z2d9+z2d11+z2d12+z2d13+z2d15+z2d17 \leq 1722; \\
& z3d1+z3d2+z3d3+z3d7+z3d9+z3d11+z3d12+z3d13+z3d15+z3d17 \leq 1098; \\
& z4d1+z4d2+z4d3+z4d7+z4d9+z4d11+z4d12+z4d13+z4d15+z4d17 \leq 1050; \\
& z5d1+z5d2+z5d3+z5d7+z5d9+z5d11+z5d12+z5d13+z5d15+z5d17 \leq 996; \\
& z6d1+z6d2+z6d3+z6d7+z6d9+z6d11+z6d12+z6d13+z6d15+z6d17 \leq 348; \\
& z7d1+z7d2+z7d3+z7d7+z7d9+z7d11+z7d12+z7d13+z7d15+z7d17 \leq 3048; \\
& z8d1+z8d2+z8d3+z8d7+z8d9+z8d11+z8d12+z8d13+z8d15+z8d17 \leq 600; \\
& z9d1+z9d2+z9d3+z9d7+z9d9+z9d11+z9d12+z9d13+z9d15+z9d17 \leq 738; \\
& z10d1+z10d2+z10d3+z10d7+z10d9+z10d11+z10d12+z10d13+z10d15+z10d17 \leq 2148; \\
& z11d1+z11d2+z11d3+z11d7+z11d9+z11d11+z11d12+z11d13+z11d15+z11d17 \leq 4020; \\
& z12d1+z12d2+z12d3+z12d7+z12d9+z12d11+z12d12+z12d13+z12d15+z12d17 \leq 2652; \\
& z13d1+z13d2+z13d3+z13d7+z13d9+z13d11+z13d12+z13d13+z13d15+z13d17 \leq 2946; \\
& z14d1+z14d2+z14d3+z14d7+z14d9+z14d11+z14d12+z14d13+z14d15+z14d17 \leq 3300; \\
& z15d1+z15d2+z15d3+z15d7+z15d9+z15d11+z15d12+z15d13+z15d15+z15d17 \leq 1350; \\
& z16d1+z16d2+z16d3+z16d7+z16d9+z16d11+z16d12+z16d13+z16d15+z16d17 \leq 2250; \\
& z17d1+z17d2+z17d3+z17d7+z17d9+z17d11+z17d12+z17d13+z17d15+z17d17 \leq 780; \\
& y1d1+y1d2+y1d3+y1d4+y1d5+y1d6+y1d7+y1d8+y1d9+y1d10+y1d11+y1d12+y1d13+y1d14+y1d15 \\
& +y1d16+y1d17=x1d1+x2d1+x7d1; \\
& y2d1+y2d2+y2d3+y2d4+y2d5+y2d6+y2d7+y2d8+y2d9+y2d10+y2d11+y2d12+y2d13+y2d14+y2d15 \\
& +y2d16+y2d17=x1d2+x2d2+x7d2; \\
& y3d1+y3d2+y3d3+y3d4+y3d5+y3d6+y3d7+y3d8+y3d9+y3d10+y3d11+y3d12+y3d13+y3d14+y3d15 \\
& +y3d16+y3d17=x1d3+x2d3+x7d3; \\
& y7d1+y7d2+y7d3+y7d4+y7d5+y7d6+y7d7+y7d8+y7d9+y7d10+y7d11+y7d12+y7d13+y7d14+y7d15 \\
& +y7d16+y7d17=x1d7+x2d7+x7d7; \\
& y11d1+y11d2+y11d3+y11d4+y11d5+y11d6+y11d7+y11d8+y11d9+y11d10+y11d11+y11d12+y11d13 \\
& +y11d14+y11d15+y11d16+y11d17=x1d11+x2d11+x7d11; \\
& y12d1+y12d2+y12d3+y12d4+y12d5+y12d6+y12d7+y12d8+y12d9+y12d10+y12d11+y12d12+y12d13 \\
& +y12d14+y12d15+y12d16+y12d17=x1d12+x2d12+x7d12; \\
& y15d1+y15d2+y15d3+y15d4+y15d5+y15d6+y15d7+y15d8+y15d9+y15d10+y15d11+y15d12+y15d13 \\
& +y15d14+y15d15+y15d16+y15d17=x1d15+x2d15+x7d15; \\
& y17d1+y17d2+y17d3+y17d4+y17d5+y17d6+y17d7+y17d8+y17d9+y17d10+y17d11+y17d12+y17d13 \\
& +y17d14+y17d15+y17d16+y17d17=x1d17+x2d17+x7d17; \\
& 0.4*(z1d1+z2d1+z3d1+z4d1+z5d1+z6d1+z7d1+z8d1+z9d1+z10d1+z11d1+z12d1+z13d1+z14d1+z15d1 \\
& +z16d1+z17d1) =p1d1+p1d2+p1d7; \\
& 0.4*(z1d2+z2d2+z3d2+z4d2+z5d2+z6d2+z7d2+z8d2+z9d2+z10d2+z11d2+z12d2+z13d2+z14d2+z15d2 \\
& +z16d2+z17d2) =p2d1+p2d2+p2d7; \\
& 0.4*(z1d3+z2d3+z3d3+z4d3+z5d3+z6d3+z7d3+z8d3+z9d3+z10d3+z11d3+z12d3+z13d3+z14d3+z15d3 \\
& +z16d3+z17d3) =p3d1+p3d2+p3d7;
\end{aligned}$$

$$0.4*(z1d7+z2d7+z3d7+z4d7+z5d7+z6d7+z7d7+z8d7+z9d7+z10d7+z11d7+z12d7+z13d7+z14d7+z15d7+z16d7+z17d7) = p7d1+p7d2+p7d7;$$

$$0.4*(z1d9+z2d9+z3d9+z4d9+z5d9+z6d9+z7d9+z8d9+z9d9+z10d9+z11d9+z12d9+z13d9+z14d9+z15d9+z16d9+z17d9) = p9d1+p9d2+p9d7;$$

$$0.4*(z1d11+z2d11+z3d11+z4d11+z5d11+z6d11+z7d11+z8d11+z9d11+z10d11+z11d11+z12d11+z13d11+z14d11+z15d11+z16d11+z17d11) = p11d1+p11d2+p11d7;$$

$$0.4*(z1d12+z2d12+z3d12+z4d12+z5d12+z6d12+z7d12+z8d12+z9d12+z10d12+z11d12+z12d12+z13d12+z14d12+z15d12+z16d12+z17d12) = p12d1+p12d2+p12d7;$$

$$0.4*(z1d13+z2d13+z3d13+z4d13+z5d13+z6d13+z7d13+z8d13+z9d13+z10d13+z11d13+z12d13+z13d13+z14d13+z15d13+z16d13+z17d13) = p13d1+p13d2+p13d7;$$

$$0.4*(z1d15+z2d15+z3d15+z4d15+z5d15+z6d15+z7d15+z8d15+z9d15+z10d15+z11d15+z12d15+z13d15+z14d15+z15d15+z16d15+z17d15) = p15d1+p15d2+p15d7;$$

$$0.4*(z1d17+z2d17+z3d17+z4d17+z5d17+z6d17+z7d17+z8d17+z9d17+z10d17+z11d17+z12d17+z13d17+z14d17+z15d17+z16d17+z17d17) = p17d1+p17d2+p17d7;$$

$$q1d1+q1d9+q1d3+q1d5=0.2*(z1d1+z2d1+z3d1+z4d1+z5d1+z6d1+z7d1+z8d1+z9d1+z10d1+z11d1+z12d1+z13d1+z14d1+z15d1+z16d1+z17d1);$$

$$q2d1+q2d9+q2d3+q2d5=0.2*(z1d2+z2d2+z3d2+z4d2+z5d2+z6d2+z7d2+z8d2+z9d2+z10d2+z11d2+z12d2+z13d2+z14d2+z15d2+z16d2+z17d2);$$

$$q3d1+q3d9+q3d3+q3d5=0.2*(z1d3+z2d3+z3d3+z4d3+z5d3+z6d3+z7d3+z8d3+z9d3+z10d3+z11d3+z12d3+z13d3+z14d3+z15d3+z16d3+z17d3);$$

$$q7d1+q7d9+q7d3+q7d5=0.2*(z1d7+z2d7+z3d7+z4d7+z5d7+z6d7+z7d7+z8d7+z9d7+z10d7+z11d7+z12d7+z13d7+z14d7+z15d7+z16d7+z17d7);$$

$$q9d1+q9d9+q9d3+q9d5=0.2*(z1d9+z2d9+z3d9+z4d9+z5d9+z6d9+z7d9+z8d9+z9d9+z10d9+z11d9+z12d9+z13d9+z14d9+z15d9+z16d9+z17d9);$$

$$q11d1+q11d9+q11d3+q11d5=0.2*(z1d11+z2d11+z3d11+z4d11+z5d11+z6d11+z7d11+z8d11+z9d11+z10d11+z11d11+z12d11+z13d11+z14d11+z15d11+z16d11+z17d11);$$

$$q12d1+q12d9+q12d3+q12d5=0.2*(z1d12+z2d12+z3d12+z4d12+z5d12+z6d12+z7d12+z8d12+z9d12+z10d12+z11d12+z12d12+z13d12+z14d12+z15d12+z16d12+z17d12);$$

$$q13d1+q13d9+q13d3+q13d5=0.2*(z1d13+z2d13+z3d13+z4d13+z5d13+z6d13+z7d13+z8d13+z9d13+z10d13+z11d13+z12d13+z13d13+z14d13+z15d13+z16d13+z17d13);$$

$$q15d1+q15d9+q15d3+q15d5=0.2*(z1d15+z2d15+z3d15+z4d15+z5d15+z6d15+z7d15+z8d15+z9d15+z10d15+z11d15+z12d15+z13d15+z14d15+z15d15+z16d15+z17d15);$$

$$q17d1+q17d9+q17d3+q17d5=0.2*(z1d17+z2d17+z3d17+z4d17+z5d17+z6d17+z7d17+z8d17+z9d17+z10d17+z11d17+z12d17+z13d17+z14d17+z15d17+z16d17+z17d17);$$

$$\text{@gin}(x1d1); x1d1 \geq 0; \text{@gin}(x1d2); x1d2 \geq 0; \text{@gin}(x1d3); x1d3 \geq 0; \text{@gin}(x1d7); x1d7 \geq 0; \text{@gin}(x1d11); x1d11 \geq 0; \text{@gin}(x1d12); x1d12 \geq 0; \text{@gin}(x1d15); x1d15 \geq 0; \text{@gin}(x1d17); x1d17 \geq 0;$$

$$\text{@gin}(x2d1); x2d1 \geq 0; \text{@gin}(x2d2); x2d2 \geq 0; \text{@gin}(x2d3); x2d3 \geq 0; \text{@gin}(x2d7); x2d7 \geq 0; \text{@gin}(x2d11); x2d11 \geq 0; \text{@gin}(x2d12); x2d12 \geq 0; \text{@gin}(x2d15); x2d15 \geq 0; \text{@gin}(x2d17); x2d17 \geq 0;$$

$$\text{@gin}(x7d1); x7d1 \geq 0; \text{@gin}(x7d2); x7d2 \geq 0; \text{@gin}(x7d3); x7d3 \geq 0; \text{@gin}(x7d7); x7d7 \geq 0;$$



@gin(x7d11); x7d11>=0; @gin(x7d12); x7d12>=0; @gin(x7d15); x7d15>=0; @gin(x7d17); x7d17>=0;

@gin(y1d1); y1d1>=0; @gin(y1d2); y1d2>=0; @gin(y1d3); y1d3>=0; @gin(y1d4); y1d4>=0; @gin(y1d5); y1d5>=0; @gin(y1d6); y1d6>=0; @gin(y1d7); y1d7>=0; @gin(y1d8); y1d8>=0; @gin(y1d9); y1d9>=0; @gin(y1d10); y1d10>=0; @gin(y1d11); y1d11>=0; @gin(y1d12); y1d12>=0; @gin(y1d13); y1d13>=0; @gin(y1d14); y1d14>=0; @gin(y1d15); y1d15>=0; @gin(y1d16); y1d16>=0; @gin(y1d17); y1d17>=0;

@gin(y2d1); y2d1>=0; @gin(y2d2); y2d2>=0; @gin(y2d3); y2d3>=0; @gin(y2d4); y2d4>=0; @gin(y2d5); y2d5>=0; @gin(y2d6); y2d6>=0; @gin(y2d7); y2d7>=0; @gin(y2d8); y2d8>=0; @gin(y2d9); y2d9>=0; @gin(y2d10); y2d10>=0; @gin(y2d11); y2d11>=0; @gin(y2d12); y2d12>=0; @gin(y2d13); y2d13>=0; @gin(y2d14); y2d14>=0; @gin(y2d15); y2d15>=0; @gin(y2d16); y2d16>=0; @gin(y2d17); y2d17>=0;

@gin(y3d1); y3d1>=0; @gin(y3d2); y3d2>=0; @gin(y3d3); y3d3>=0; @gin(y3d4); y3d4>=0; @gin(y3d5); y3d5>=0; @gin(y3d6); y3d6>=0; @gin(y3d7); y3d7>=0; @gin(y3d8); y3d8>=0; @gin(y3d9); y3d9>=0; @gin(y3d10); y3d10>=0; @gin(y3d11); y3d11>=0; @gin(y3d12); y3d12>=0; @gin(y3d13); y3d13>=0; @gin(y3d14); y3d14>=0; @gin(y3d15); y3d15>=0; @gin(y3d16); y3d16>=0; @gin(y3d17); y3d17>=0;

@gin(y7d1); y7d1>=0; @gin(y7d2); y7d2>=0; @gin(y7d3); y7d3>=0; @gin(y7d4); y7d4>=0; @gin(y7d5); y7d5>=0; @gin(y7d6); y7d6>=0; @gin(y7d7); y7d7>=0; @gin(y7d8); y7d8>=0; @gin(y7d9); y7d9>=0; @gin(y7d10); y7d10>=0; @gin(y7d11); y7d11>=0; @gin(y7d12); y7d12>=0; @gin(y7d13); y7d13>=0; @gin(y7d14); y7d14>=0; @gin(y7d15); y7d15>=0; @gin(y7d16); y7d16>=0; @gin(y7d17); y7d17>=0;

@gin(y11d1); y11d1>=0; @gin(y11d2); y11d2>=0; @gin(y11d3); y11d3>=0; @gin(y11d4); y11d4>=0; @gin(y11d5); y11d5>=0; @gin(y11d6); y11d6>=0; @gin(y11d7); y11d7>=0; @gin(y11d8); y11d8>=0; @gin(y11d9); y11d9>=0; @gin(y11d10); y11d10>=0; @gin(y11d11); y11d11>=0; @gin(y11d12); y11d12>=0; @gin(y11d13); y11d13>=0; @gin(y11d14); y11d14>=0; @gin(y11d15); y11d15>=0; @gin(y11d16); y11d16>=0; @gin(y11d17); y11d17>=0;

@gin(y12d1); y12d1>=0; @gin(y12d2); y12d2>=0; @gin(y12d3); y12d3>=0; @gin(y12d4); y12d4>=0; @gin(y12d5); y12d5>=0; @gin(y12d6); y12d6>=0; @gin(y12d7); y12d7>=0; @gin(y12d8); y12d8>=0; @gin(y12d9); y12d9>=0; @gin(y12d10); y12d10>=0; @gin(y12d11); y12d11>=0; @gin(y12d12); y12d12>=0; @gin(y12d13); y12d13>=0; @gin(y12d14); y12d14>=0; @gin(y12d15); y12d15>=0; @gin(y12d16); y12d16>=0; @gin(y12d17); y12d17>=0;

@gin(y15d1); y15d1>=0; @gin(y15d2); y15d2>=0; @gin(y15d3); y15d3>=0; @gin(y15d4); y15d4>=0; @gin(y15d5); y15d5>=0; @gin(y15d6); y15d6>=0; @gin(y15d7); y15d7>=0; @gin(y15d8); y15d8>=0; @gin(y15d9); y15d9>=0; @gin(y15d10); y15d10>=0; @gin(y15d11); y15d11>=0; @gin(y15d12); y15d12>=0; @gin(y15d13); y15d13>=0; @gin(y15d14); y15d14>=0; @gin(y15d15); y15d15>=0; @gin(y15d16); y15d16>=0; @gin(y15d17); y15d17>=0;

@gin(y17d1); y17d1>=0; @gin(y17d2); y17d2>=0; @gin(y17d3); y17d3>=0; @gin(y17d4); y17d4>=0; @gin(y17d5); y17d5>=0; @gin(y17d6); y17d6>=0; @gin(y17d7); y17d7>=0; @gin(y17d8); y17d8>=0; @gin(y17d9); y17d9>=0; @gin(y17d10); y17d10>=0; @gin(y17d11); y17d11>=0; @gin(y17d12); y17d12>=0; @gin(y17d13); y17d13>=0; @gin(y17d14); y17d14>=0; @gin(y17d15); y17d15>=0; @gin(y17d16); y17d16>=0; @gin(y17d17); y17d17>=0;

@gin(z1d1); z1d1>=0; @gin(z2d1); z2d1>=0; @gin(z3d1); z3d1>=0; @gin(z4d1); z4d1>=0; @gin(z5d1); z5d1>=0; @gin(z6d1); z6d1>=0; @gin(z7d1); z7d1>=0; @gin(z8d1); z8d1>=0; @gin(z9d1); z9d1>=0; @gin(z10d1); z10d1>=0; @gin(z11d1); z11d1>=0; @gin(z12d1); z12d1>=0; @gin(z13d1); z13d1>=0; @gin(z14d1); z14d1>=0; @gin(z15d1); z15d1>=0; @gin(z16d1); z16d1>=0; @gin(z17d1); z17d1>=0;

@gin(z1d2); z1d2>=0; @gin(z2d2); z2d2>=0; @gin(z3d2); z3d2>=0; @gin(z4d2); z4d2>=0; @gin(z5d2); z5d2>=0; @gin(z6d2); z6d2>=0; @gin(z7d2); z7d2>=0; @gin(z8d2); z8d2>=0; @gin(z9d2); z9d2>=0; @gin(z10d2); z10d2>=0; @gin(z11d2); z11d2>=0; @gin(z12d2); z12d2>=0; @gin(z13d2); z13d2>=0; @gin(z14d2); z14d2>=0; @gin(z15d2); z15d2>=0; @gin(z16d2); z16d2>=0; @gin(z17d2); z17d2>=0;

@gin(z1d3); z1d3>=0; @gin(z2d3); z2d3>=0; @gin(z3d3); z3d3>=0; @gin(z4d3); z4d3>=0; @gin(z5d3); z5d3>=0; @gin(z6d3); z6d3>=0; @gin(z7d3); z7d3>=0; @gin(z8d3); z8d3>=0; @gin(z9d3); z9d3>=0; @gin(z10d3); z10d3>=0; @gin(z11d3); z11d3>=0; @gin(z12d3); z12d3>=0; @gin(z13d3); z13d3>=0; @gin(z14d3); z14d3>=0; @gin(z15d3); z15d3>=0; @gin(z16d3); z16d3>=0; @gin(z17d3); z17d3>=0;

@gin(z1d7); z1d7>=0; @gin(z2d7); z2d7>=0; @gin(z3d7); z3d7>=0; @gin(z4d7); z4d7>=0; @gin(z5d7); z5d7>=0; @gin(z6d7); z6d7>=0; @gin(z7d7); z7d7>=0; @gin(z8d7); z8d7>=0; @gin(z9d7); z9d7>=0; @gin(z10d7); z10d7>=0; @gin(z11d7); z11d7>=0; @gin(z12d7); z12d7>=0; @gin(z13d7); z13d7>=0; @gin(z14d7); z14d7>=0; @gin(z15d7); z15d7>=0; @gin(z16d7); z16d7>=0; @gin(z17d7); z17d7>=0;

@gin(z1d9); z1d9>=0; @gin(z2d9); z2d9>=0; @gin(z3d9); z3d9>=0; @gin(z4d9); z4d9>=0; @gin(z5d9); z5d9>=0; @gin(z6d9); z6d9>=0; @gin(z7d9); z7d9>=0; @gin(z8d9); z8d9>=0; @gin(z9d9); z9d9>=0; @gin(z10d9); z10d9>=0; @gin(z11d9); z11d9>=0; @gin(z12d9); z12d9>=0; @gin(z13d9); z13d9>=0; @gin(z14d9); z14d9>=0; @gin(z15d9); z15d9>=0; @gin(z16d9); z16d9>=0; @gin(z17d9); z17d9>=0;

@gin(z1d11); z1d11>=0; @gin(z2d11); z2d11>=0; @gin(z3d11); z3d11>=0; @gin(z4d11); z4d11>=0; @gin(z5d11); z5d11>=0; @gin(z6d11); z6d11>=0; @gin(z7d11); z7d11>=0; @gin(z8d11); z8d11>=0; @gin(z9d11); z9d11>=0; @gin(z10d11); z10d11>=0; @gin(z11d11); z11d11>=0; @gin(z12d11); z12d11>=0; @gin(z13d11); z13d11>=0; @gin(z14d11); z14d11>=0; @gin(z15d11); z15d11>=0; @gin(z16d11); z16d11>=0; @gin(z17d11); z17d11>=0;

@gin(z1d12); z1d12>=0; @gin(z2d12); z2d12>=0; @gin(z3d12); z3d12>=0; @gin(z4d12);

z4d12>=0; @gin(z5d12); z5d12>=0; @gin(z6d12); z6d12>=0; @gin(z7d12); z7d12>=0;  
 @gin(z8d12); z8d12>=0; @gin(z9d12); z9d12>=0; @gin(z10d12); z10d12>=0; @gin(z11d12);  
 z11d12>=0; @gin(z12d12); z12d12>=0; @gin(z13d12); z13d12>=0; @gin(z14d12); z14d12>=0;  
 @gin(z15d12); z15d12>=0; @gin(z16d12); z16d12>=0; @gin(z17d12); z17d12>=0;

@gin(z1d13); z1d13>=0; @gin(z2d13); z2d13>=0; @gin(z3d13); z3d13>=0; @gin(z4d13);  
 z4d13>=0; @gin(z5d13); z5d13>=0; @gin(z6d13); z6d13>=0; @gin(z7d13); z7d13>=0;  
 @gin(z8d13); z8d13>=0; @gin(z9d13); z9d13>=0; @gin(z10d13); z10d13>=0; @gin(z11d13);  
 z11d13>=0; @gin(z12d13); z12d13>=0; @gin(z13d13); z13d13>=0; @gin(z14d13); z14d13>=0;  
 @gin(z15d13); z15d13>=0; @gin(z16d13); z16d13>=0; @gin(z17d13); z17d13>=0;

@gin(z1d15); z1d15>=0; @gin(z2d15); z2d15>=0; @gin(z3d15); z3d15>=0; @gin(z4d15);  
 z4d15>=0; @gin(z5d15); z5d15>=0; @gin(z6d15); z6d15>=0; @gin(z7d15); z7d15>=0;  
 @gin(z8d15); z8d15>=0; @gin(z9d15); z9d15>=0; @gin(z10d15); z10d15>=0; @gin(z11d15);  
 z11d15>=0; @gin(z12d15); z12d15>=0; @gin(z13d15); z13d15>=0; @gin(z14d15); z14d15>=0;  
 @gin(z15d15); z15d15>=0; @gin(z16d15); z16d15>=0; @gin(z17d15); z17d15>=0;

@gin(z1d17); z1d17>=0; @gin(z2d17); z2d17>=0; @gin(z3d17); z3d17>=0; @gin(z4d17);  
 z4d17>=0; @gin(z5d17); z5d17>=0; @gin(z6d17); z6d17>=0; @gin(z7d17); z7d17>=0;  
 @gin(z8d17); z8d17>=0; @gin(z9d17); z9d17>=0; @gin(z10d17); z10d17>=0; @gin(z11d17);  
 z11d17>=0; @gin(z12d17); z12d17>=0; @gin(z13d17); z13d17>=0; @gin(z14d17); z14d17>=0;  
 @gin(z15d17); z15d17>=0; @gin(z16d17); z16d17>=0; @gin(z17d17); z17d17>=0;

@gin(q1d1); q1d1>=0; @gin(q2d1); q2d1>=0; @gin(q3d1); q3d1>=0; @gin(q7d1); q7d1>=0;  
 @gin(q9d1); q9d1>=0; @gin(q11d1); q11d1>=0; @gin(q12d1); q12d1>=0; @gin(q13d1); q13d1>=0;  
 @gin(q15d1); q15d1>=0; @gin(q17d1); q17d1>=0;

@gin(q1d9); q1d9>=0; @gin(q2d9); q2d9>=0; @gin(q3d9); q3d9>=0; @gin(q7d9); q7d9>=0;  
 @gin(q9d9); q9d9>=0; @gin(q11d9); q11d9>=0; @gin(q12d9); q12d9>=0; @gin(q13d9); q13d9>=0;  
 @gin(q15d9); q15d9>=0; @gin(q17d9); q17d9>=0;

@gin(q1d3); q1d3>=0; @gin(q2d3); q2d3>=0; @gin(q3d3); q3d3>=0; @gin(q7d3); q7d3>=0;  
 @gin(q9d3); q9d3>=0; @gin(q11d3); q11d3>=0; @gin(q12d3); q12d3>=0; @gin(q13d3); q13d3>=0;  
 @gin(q15d3); q15d3>=0; @gin(q17d3); q17d3>=0;

@gin(q1d5); q1d5>=0; @gin(q2d5); q2d5>=0; @gin(q3d5); q3d5>=0; @gin(q7d5); q7d5>=0;  
 @gin(q9d5); q9d5>=0; @gin(q11d5); q11d5>=0; @gin(q12d5); q12d5>=0; @gin(q13d5); q13d5>=0;  
 @gin(q15d5); q15d5>=0; @gin(q17d5); q17d5>=0;

@gin(p1d1); p1d1>=0; @gin(p1d2); p1d2>=0; @gin(p1d7); p1d7>=0;  
 @gin(p2d1); p2d1>=0; @gin(p2d2); p1d2>=0; @gin(p2d7); p2d7>=0;  
 @gin(p3d1); p3d1>=0; @gin(p3d2); p3d2>=0; @gin(p3d7); p3d7>=0;  
 @gin(p7d1); p7d1>=0; @gin(p7d2); p7d2>=0; @gin(p7d7); p7d7>=0;  
 @gin(p9d1); p9d1>=0; @gin(p9d2); p9d2>=0; @gin(p9d7); p9d7>=0;

@gin(p11d1); p11d1>=0; @gin(p11d2); p11d2>=0; @gin(p11d7); p11d7>=0;  
 @gin(p12d1); p12d1>=0; @gin(p12d2); p12d2>=0; @gin(p12d7); p12d7>=0;  
 @gin(p13d1); p13d1>=0; @gin(p13d2); p13d2>=0; @gin(p13d7); p13d7>=0;  
 @gin(p15d1); p15d1>=0; @gin(p15d2); p15d2>=0; @gin(p15d7); p15d7>=0;  
 @gin(p17d1); p17d1>=0; @gin(p17d2); p17d2>=0; @gin(p17d7); p17d7>=0;

### 最终求解结果:

Global optimal solution found at iteration: 101182  
 Objective value: 2024633

Variable	Value	Reduced Cost
P1D1	0.000000	-258.4800
P1D2	0.000000	-261.5220
P1D7	0.000000	-261.7200
P2D1	0.000000	-263.5380
P2D2	0.000000	-266.5800
P2D7	0.000000	-273.0600
P3D1	0.000000	-264.4560
P3D2	0.000000	-267.4980
P3D7	0.000000	-266.9400
P7D1	0.000000	-270.3600
P7D2	0.000000	-273.4200
P7D7	0.000000	-266.9400
P9D1	7534.000	-272.7900
P9D2	0.000000	-275.7600
P9D7	0.000000	-271.3400
P11D1	0.000000	-272.1600
P11D2	0.000000	-271.0800
P11D7	0.000000	-274.5900
P12D1	4972.000	-274.8600
P12D2	0.000000	-272.7000
P12D7	0.000000	-277.7400
P13D1	0.000000	-272.8800
P13D2	0.000000	-269.8560
P13D7	0.000000	-276.3000
P15D1	0.000000	-267.1740
P15D2	0.000000	-270.2700
P15D7	0.000000	-268.4700
P17D1	0.000000	-269.7840
P17D2	0.000000	-272.5200
P17D7	0.000000	-266.4000
Y1D1	0.000000	-40800.00

Y2D1	0.000000	-40796.96
Y3D1	0.000000	-40802.38
Y7D1	0.000000	-40803.42
Y11D1	0.000000	-40804.32
Y12D1	3700.000	-40805.67
Y15D1	0.000000	-40803.74
Y17D1	0.000000	-40804.55
Y1D2	0.000000	-40803.04
Y2D2	0.000000	-40800.00
Y3D2	0.000000	-40805.42
Y7D2	2670.000	-40806.48
Y11D2	0.000000	-40803.24
Y12D2	200.0000	-40805.67
Y15D2	0.000000	-40806.84
Y17D2	0.000000	-40807.29
Y1D3	0.000000	-40802.38
Y2D3	0.000000	-40805.42
Y3D3	0.000000	-40800.00
Y7D3	0.000000	-40804.86
Y11D3	0.000000	-40806.75
Y12D3	1830.000	-40808.10
Y15D3	0.000000	-40801.26
Y17D3	0.000000	-40803.69
Y1D4	0.000000	-40801.98
Y2D4	0.000000	-40801.04
Y3D4	0.000000	-40804.32
Y7D4	1750.000	-40805.40
Y11D4	0.000000	-40802.16
Y12D4	0.000000	-40803.24
Y15D4	0.000000	-40805.72
Y17D4	0.000000	-40806.48
Y1D5	0.000000	-40805.58
Y2D5	0.000000	-40802.61
Y3D5	0.000000	-40807.96
Y7D5	1660.000	-40809.00
Y11D5	0.000000	-40802.70
Y12D5	0.000000	-40802.43
Y15D5	0.000000	-40809.18
Y17D5	0.000000	-40810.08
Y1D6	0.000000	-40802.52
Y2D6	0.000000	-40805.56
Y3D6	0.000000	-40802.16
Y7D6	0.000000	-40802.70
Y11D6	0.000000	-40806.84

Y12D6	580.0000	-40808.64
Y15D6	0.000000	-40803.06
Y17D6	0.000000	-40800.99
Y1D7	0.000000	-40803.42
Y2D7	0.000000	-40806.48
Y3D7	0.000000	-40804.86
Y7D7	0.000000	-40800.00
Y11D7	0.000000	-40806.75
Y12D7	5080.000	-40808.55
Y15D7	0.000000	-40805.04
Y17D7	0.000000	-40801.17
Y1D8	0.000000	-40802.52
Y2D8	0.000000	-40805.58
Y3D8	0.000000	-40801.08
Y7D8	0.000000	-40805.94
Y11D8	0.000000	-40806.84
Y12D8	1000.000	-40808.19
Y15D8	0.000000	-40802.34
Y17D8	0.000000	-40804.23
Y1D9	0.000000	-40805.84
Y2D9	0.000000	-40808.82
Y3D9	0.000000	-40804.86
Y7D9	0.000000	-40804.14
Y11D9	0.000000	-40810.89
Y12D9	1230.000	-40812.69
Y15D9	0.000000	-40803.47
Y17D9	0.000000	-40802.61
Y1D10	0.000000	-40802.72
Y2D10	0.000000	-40802.88
Y3D10	0.000000	-40805.04
Y7D10	0.000000	-40806.03
Y11D10	0.000000	-40805.67
Y12D10	3580.000	-40806.39
Y15D10	0.000000	-40806.30
Y17D10	0.000000	-40807.11
Y1D11	0.000000	-40804.32
Y2D11	0.000000	-40803.24
Y3D11	0.000000	-40806.75
Y7D11	6700.000	-40806.75
Y11D11	0.000000	-40800.00
Y12D11	0.000000	-40801.87
Y15D11	0.000000	-40807.92
Y17D11	0.000000	-40807.92
Y1D12	0.000000	-40805.67

Y2D12	0.000000	-40803.51
Y3D12	0.000000	-40808.10
Y7D12	4420.000	-40808.55
Y11D12	0.000000	-40801.87
Y12D12	0.000000	-40800.00
Y15D12	0.000000	-40809.36
Y17D12	0.000000	-40809.72
Y1D13	0.000000	-40804.68
Y2D13	0.000000	-40801.66
Y3D13	0.000000	-40807.02
Y7D13	4910.000	-40808.10
Y11D13	0.000000	-40802.52
Y12D13	0.000000	-40801.98
Y15D13	0.000000	-40808.46
Y17D13	0.000000	-40809.18
Y1D14	0.000000	-40801.42
Y2D14	0.000000	-40804.46
Y3D14	0.000000	-40803.78
Y7D14	0.000000	-40803.42
Y11D14	0.000000	-40802.88
Y12D14	5500.000	-40804.68
Y15D14	0.000000	-40805.17
Y17D14	0.000000	-40804.32
Y1D15	0.000000	-40803.74
Y2D15	0.000000	-40806.84
Y3D15	0.000000	-40801.26
Y7D15	0.000000	-40805.04
Y11D15	0.000000	-40807.92
Y12D15	2250.000	-40809.36
Y15D15	0.000000	-40800.00
Y17D15	0.000000	-40803.78
Y1D16	0.000000	-40801.19
Y2D16	0.000000	-40803.96
Y3D16	0.000000	-40801.19
Y7D16	0.000000	-40805.51
Y11D16	0.000000	-40805.51
Y12D16	3750.000	-40806.84
Y15D16	0.000000	-40802.56
Y17D16	0.000000	-40805.04
Y1D17	0.000000	-40804.55
Y2D17	0.000000	-40807.29
Y3D17	0.000000	-40803.69
Y7D17	0.000000	-40801.17
Y11D17	0.000000	-40807.92

Y12D17	1300.000	-40809.72
Y15D17	0.000000	-40803.78
Y17D17	0.000000	-40800.00
A2	0.000000	1000000.0
A7	0.000000	1000000.0
B11	0.000000	100000.0
B12	1.000000	100000.0
B15	0.000000	100000.0
B17	0.000000	100000.0
C1	0.000000	100000.0
C2	0.000000	100000.0
C3	0.000000	100000.0
C7	0.000000	100000.0
C9	1.000000	100000.0
C11	0.000000	100000.0
C12	1.000000	100000.0
C13	0.000000	100000.0
C15	0.000000	100000.0
C17	0.000000	100000.0
E3	0.000000	200000.0
E5	1.000000	200000.0
X1D1	0.000000	2010.000
X1D2	0.000000	2013.042
X1D3	0.000000	2007.624
X1D7	22110.00	2006.580
X1D11	0.000000	2005.680
X1D12	30000.00	2004.330
X1D15	0.000000	2006.256
X1D17	0.000000	2005.446
X2D1	0.000000	2006.958
X2D2	0.000000	2010.000
X2D3	0.000000	2004.582
X2D7	0.000000	2003.520
X2D11	0.000000	2006.760
X2D12	0.000000	2006.490
X2D15	0.000000	2003.160
X2D17	0.000000	2002.710
X7D1	0.000000	2006.580
X7D2	0.000000	2003.520
X7D3	0.000000	2005.140
X7D7	0.000000	2010.000
X7D11	0.000000	2003.250
X7D12	0.000000	2001.450
X7D15	0.000000	2004.960



X7D17	0.000000	2008.830
Z1D1	0.000000	20.00000
Z2D1	0.000000	23.04200
Z3D1	0.000000	17.62400
Z4D1	0.000000	18.02000
Z5D1	0.000000	14.42000
Z6D1	0.000000	17.48000
Z7D1	0.000000	16.58000
Z8D1	0.000000	17.48000
Z9D1	0.000000	14.15000
Z10D1	0.000000	17.28200
Z11D1	0.000000	15.68000
Z12D1	0.000000	19.33000
Z13D1	0.000000	15.32000
Z14D1	0.000000	18.57800
Z15D1	0.000000	16.25600
Z16D1	0.000000	18.81200
Z17D1	0.000000	15.44600
Z1D2	0.000000	16.95800
Z2D2	0.000000	20.00000
Z3D2	0.000000	14.58200
Z4D2	0.000000	18.95600
Z5D2	0.000000	17.39000
Z6D2	0.000000	14.43800
Z7D2	0.000000	13.52000
Z8D2	0.000000	14.42000
Z9D2	0.000000	11.18000
Z10D2	0.000000	17.12000
Z11D2	0.000000	16.76000
Z12D2	0.000000	16.49000
Z13D2	0.000000	18.34400
Z14D2	0.000000	15.53600
Z15D2	0.000000	13.16000
Z16D2	0.000000	16.04000
Z17D2	0.000000	12.71000
Z1D3	0.000000	17.62400
Z2D3	0.000000	14.58200
Z3D3	0.000000	20.00000
Z4D3	0.000000	15.68000
Z5D3	0.000000	12.04400
Z6D3	0.000000	17.84000
Z7D3	0.000000	15.14000
Z8D3	0.000000	18.92000
Z9D3	0.000000	15.14000

Z10D3	0.000000	14.96000
Z11D3	0.000000	13.25000
Z12D3	0.000000	11.90000
Z13D3	0.000000	12.98000
Z14D3	0.000000	16.22000
Z15D3	0.000000	18.74000
Z16D3	0.000000	18.81200
Z17D3	0.000000	16.31000
Z1D7	0.000000	16.58000
Z2D7	0.000000	13.52000
Z3D7	0.000000	15.14000
Z4D7	0.000000	14.60000
Z5D7	0.000000	11.00000
Z6D7	0.000000	17.30000
Z7D7	0.000000	20.00000
Z8D7	0.000000	14.06000
Z9D7	0.000000	15.86000
Z10D7	0.000000	13.97000
Z11D7	0.000000	13.25000
Z12D7	0.000000	11.45000
Z13D7	0.000000	11.90000
Z14D7	0.000000	16.58000
Z15D7	0.000000	14.96000
Z16D7	0.000000	14.49200
Z17D7	0.000000	18.83000
Z1D9	1.000000	14.15000
Z2D9	1722.000	11.18000
Z3D9	0.000000	15.14000
Z4D9	1050.000	12.17000
Z5D9	996.0000	8.570000
Z6D9	0.000000	17.12000
Z7D9	0.000000	15.86000
Z8D9	0.000000	14.06000
Z9D9	0.000000	20.00000
Z10D9	2148.000	10.28000
Z11D9	4020.000	9.110000
Z12D9	2652.000	7.310000
Z13D9	2946.000	9.470000
Z14D9	3300.000	12.80000
Z15D9	0.000000	16.25300
Z16D9	0.000000	13.97000
Z17D9	0.000000	17.39000
Z1D11	0.000000	15.68000
Z2D11	0.000000	16.76000

Z3D11	0.000000	13.25000
Z4D11	0.000000	17.84000
Z5D11	0.000000	17.30000
Z6D11	0.000000	13.16000
Z7D11	0.000000	13.25000
Z8D11	0.000000	13.16000
Z9D11	0.000000	9.110000
Z10D11	0.000000	14.33000
Z11D11	0.000000	20.00000
Z12D11	0.000000	18.12800
Z13D11	0.000000	17.48000
Z14D11	0.000000	17.12000
Z15D11	0.000000	12.08000
Z16D11	0.000000	14.49200
Z17D11	0.000000	12.08000
Z1D12	2218.000	14.33000
Z2D12	0.000000	16.49000
Z3D12	1098.000	11.90000
Z4D12	0.000000	16.76000
Z5D12	0.000000	17.57000
Z6D12	348.0000	11.36000
Z7D12	3048.000	11.45000
Z8D12	600.0000	11.81000
Z9D12	738.0000	7.310000
Z10D12	0.000000	13.61000
Z11D12	0.000000	18.12800
Z12D12	0.000000	20.00000
Z13D12	0.000000	18.02000
Z14D12	0.000000	15.32000
Z15D12	1350.000	10.64000
Z16D12	2250.000	13.16000
Z17D12	780.0000	10.28000
Z1D13	0.000000	15.32000
Z2D13	0.000000	18.34400
Z3D13	0.000000	12.98000
Z4D13	0.000000	17.30000
Z5D13	0.000000	19.04600
Z6D13	0.000000	12.71000
Z7D13	0.000000	11.90000
Z8D13	0.000000	12.80000
Z9D13	0.000000	9.470000
Z10D13	0.000000	15.50000
Z11D13	0.000000	17.48000
Z12D13	0.000000	18.02000

Z13D13	0.000000	20.00000
Z14D13	0.000000	13.89800
Z15D13	0.000000	11.54000
Z16D13	0.000000	14.15000
Z17D13	0.000000	10.82000
Z1D15	0.000000	16.25600
Z2D15	0.000000	13.16000
Z3D15	0.000000	18.74000
Z4D15	0.000000	14.27600
Z5D15	0.000000	10.82000
Z6D15	0.000000	16.94000
Z7D15	0.000000	14.96000
Z8D15	0.000000	17.57000
Z9D15	0.000000	16.52600
Z10D15	0.000000	13.70000
Z11D15	0.000000	12.08000
Z12D15	0.000000	10.64000
Z13D15	0.000000	11.54000
Z14D15	0.000000	14.83400
Z15D15	0.000000	20.00000
Z16D15	0.000000	17.44400
Z17D15	0.000000	16.22000
Z1D17	0.000000	15.44600
Z2D17	0.000000	12.71000
Z3D17	0.000000	16.31000
Z4D17	0.000000	13.52000
Z5D17	0.000000	9.920000
Z6D17	0.000000	19.01000
Z7D17	0.000000	18.83000
Z8D17	0.000000	15.77000
Z9D17	0.000000	17.39000
Z10D17	0.000000	12.89000
Z11D17	0.000000	12.08000
Z12D17	0.000000	10.28000
Z13D17	0.000000	10.82000
Z14D17	0.000000	15.68000
Z15D17	0.000000	16.22000
Z16D17	0.000000	14.96000
Z17D17	0.000000	20.00000
Q1D1	0.000000	4.800000
Q2D1	0.000000	7.842000
Q3D1	0.000000	2.424000
Q7D1	0.000000	1.380000
Q9D1	1267.000	-1.050000

Q11D1	0.000000	0.4800000
Q12D1	0.000000	-0.8700000
Q13D1	0.000000	0.1200000
Q15D1	0.000000	1.056000
Q17D1	0.000000	0.2460000
Q1D9	0.000000	-1.050000
Q2D9	0.000000	-4.020000
Q3D9	0.000000	-0.6000000E-01
Q7D9	0.000000	0.6600000
Q9D9	0.000000	4.800000
Q11D9	0.000000	-6.090000
Q12D9	2486.000	-7.890000
Q13D9	0.000000	-5.730000
Q15D9	0.000000	1.326000
Q17D9	0.000000	2.190000
Q1D3	0.000000	2.424000
Q2D3	0.000000	-0.6180000
Q3D3	0.000000	4.800000
Q7D3	0.000000	-0.6000000E-01
Q9D3	0.000000	-0.6000000E-01
Q11D3	0.000000	-1.950000
Q12D3	0.000000	-3.300000
Q13D3	0.000000	-2.220000
Q15D3	0.000000	3.540000
Q17D3	0.000000	1.110000
Q1D5	0.000000	-0.7800000
Q2D5	0.000000	2.190000
Q3D5	0.000000	-3.150600
Q7D5	0.000000	-4.200000
Q9D5	2500.000	-6.630000
Q11D5	0.000000	2.100000
Q12D5	0.000000	2.370000
Q13D5	0.000000	3.846000
Q15D5	0.000000	-4.380000
Q17D5	0.000000	-5.280000
X1D22	0.000000	0.000000