

灰色环境下制造/再制造集成物流网络优化设计

柏明国,于佳

(安徽工业大学 管理学院,安徽 马鞍山 243002)

摘要: 本文考虑到制造/再制造集成物流网络中新产品与再制造产品的需求量和废弃产品质量的不确定性,用灰数来表达网络中的某些参数,从而提出了一种带有灰色参数的制造/再制造集成物流网络优化设计模型。利用灰色白化方法将灰色规划模型转化为确定型的等价类模型,并用优化软件对确定型模型进行求解。最后通过算例验证了网络设计方法的有效性。

关键词: 制造/再制造;网络设计;等权白化;灰色规划

中图分类号: F252 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-980X(2010)04-0114-04

1 研究背景

再制造物流包含废旧产品从消费地运回生产地的逆向物流,以及再制造产品从生产地运往消费地的正向物流,涉及废旧产品收集、检测/分类、再制造、再分销等环节,是一种闭环物流系统^[1]。长期以来,有关再制造的研究主要集中在工程技术方面,近年来才开始重视其物流领域的研究^[2]。由于再制造逆向物流网络需要运用生产设备,因此再制造通常由原始设备制造商自己承担,从而形成了再制造物流与传统制造系统共用的再制造/制造集成物流网络。再制造物流网络优化设计是否合理决定了再制造物流管理的绩效,所以再制造物流网络优化设计在再制造物流管理中具有重要的战略意义。根据再制造物流系统参数的确定与否将再制造物流网络优化设计分为确定环境下再制造物流网络优化设计和不确定环境下再制造物流网络优化设计。再制造物流网络与常规物流网络相比具有高度的不确定性,网络中新产品与再制造产品的需求量、废弃产品质量等网络参数不是由系统本身决定的,而是受外界环境影响故很难预测。先前相关研究主要是将各种不确定因素进行确定性的近似,模型大多表现为确定性的混合整数规划模型。近几年来,对不确定环境下再制造物流网络优化设计问题的研究明显增多,马祖军考虑了产品回收量和再生产品需求量的不确定性,提出了一种再制造物流网络稳健优化设计模型^[3]。代颖与马祖军基于两阶段随机规划方法建立了一种制造/再制造集成物流网络优化设计模型^[4]。代颖对确定、不确定环境下的再制造逆向物流网络优化设计进行了系统研究与分析^[5]。马祖军

等提出了一种制造/再制造集成物流网络优化设计两阶段补偿随机规划模型^[6]。马祖军和代颖基于稳健优化方法建立了一种制造/再制造集成物流网络优化设计模型^[7]。岳辉等为了确定第三方逆向物流企业的仓库和拆卸中心的位置,将回收量和需求量视为随机参数,建立了一个再制造逆向物流网络设计的随机规划模型^[8]。狄卫民等对含有连续型随机参数的制造/再制造物流集成网络优化设计问题进行研究,结合模拟抽样技术建立了适合连续型随机参数的两阶段随机规划模型^[9]。现有关于不确定环境下制造/再制造集成物流网络优化设计研究的不足主要有两点:一是忽视不确定性而仅利用某种确定情景所构建的逆向物流网络缺乏良好的稳健性;二是在设计再制造物流网络时,因信息的缺乏而把某些不确定参量认为服从某种概率分布显得过于理想化。为此,本文针对再制造物流网络具有高度不确定性以及逆向物流系统的“小样本、贫信息”的特点,借助灰色规划思想和解决方法,用灰色参数来描述网络中不确定的新产品与再制造产品的需求量、废弃产品的质量,并利用灰色白化方法将不确定环境下的网络模型转化为确定型的等价类模型。最后,通过优化软件对确定模型进行求解。

2 灰色环境下的制造/再制造集成物流网络优化模型

制造/再制造集成物流网络具有高度的不确定性,故很难利用随机不确定方法表达相关设计参数。而与研究“随机不确定性”的概率统计和研究“认知不确定性”的模糊数学不同,灰色系统模型对试验观测数据及其分布没有特殊的要求与限制,而且最主

收稿日期:2010-02-21

作者简介: 柏明国(1969—),男,山东莒县人,安徽工业大学管理学院副教授,博士,研究方向:物流与供应链管理;于佳(1983—),女,满族,辽宁沈阳人,安徽工业大学管理学院硕士研究生,研究方向:物流与供应链管理。

要的是灰色系统理论的研究对象是“部分信息已知,部分信息未知”的“小样本”、“贫信息”不确定性系统^[10]。因此,本文在设计制造/再制造集成物流网络时,将一些网络参数用灰数的形式来加以描述。从而构建出制造/再制造集成物流网络灰色优化模型。

2.1 模型描述及假设

此模型为制造/再制造集成物流网络模型,包括制造/再制造集成工厂、分销/回收中心、消费区域和废弃处理点。集成工厂生产的新产品通过分销/回收中心销售到各个消费区域,从各消费区域收集的废弃产品通过分销/回收中心的拆卸、清洗、检测以及分类等处理,将可再制造的废弃产品或零部件运送到集成工厂进行再制造,其他不可再制造的送至废弃处理点,再制造产品同样通过分销/回收中心销售至消费区域,制造/再制造集成物流网络结构示意图可用图1表示。

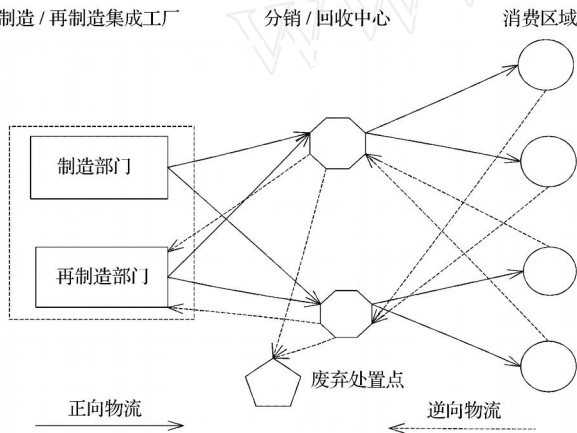


图1 制造/再制造集成物流网络结构图

模型假设如下:

- 1) 集成工厂包括制造部门和再制造部门,可以同时进行新产品生产和废弃产品再制造。
- 2) 新产品和废弃产品均通过分销/回收中心销售至各个消费区域,且再制造产品与新产品具有相同的消费区域且可以相互替代。
- 3) 仅考虑单种产品、单一周期情形,不考虑集成工厂的再制造部门采购的其他零部件。
- 4) 各设施的最大处理能力、投资和运营成本以及设施间的运输成本等均是确定已知的。
- 5) 网络中的各种设施选址仅在一些地理位置已知的备选地点中进行。
- 6) 单位运输成本与运输距离成正比,且运输距离用平面坐标的欧几里德距离表示。
- 7) 将制造/再制造集成物流网络中新产品与再制造产品的需求量和废弃产品的质量考虑成灰色参

量。

2.2 符号说明

下标:

i 为可能开设集成工厂的地点, $i \in \{1, 2, \dots, I\}$; j 为可能开设分销/回收中心的地点, $j \in \{1, 2, \dots, J\}$; l 为已知的消费区域, $l \in \{1, 2, \dots, L\}$ 。

决策变量:

$$\alpha_i^m = \begin{cases} 1 & \text{在 } i \text{ 地开设制造/再制造集成工厂} \\ 0 & \text{不在 } i \text{ 地开设制造/再制造集成工厂} \end{cases}$$

$$\beta_j^d = \begin{cases} 1 & \text{在 } j \text{ 地开设分销/回收中心} \\ 0 & \text{不在 } j \text{ 地开设分销/回收中心} \end{cases}$$

q_{ij}^{nm} 为从制造/再制造集成工厂 i 运往分销/回收中心 j 的新产品数量; q_{ij}^{md} 为从制造/再制造集成工厂 i 运往分销/回收中心 j 的再制造产品数量; q_{jl}^{dc} 为从分销/回收中心 j 运往消费区域 l 的新产品和再制造产品的总数量; q_{lj}^{cd} 为从消费区域 l 运往分销/回收中心 j 的废弃产品的数量; q_{ji}^{rdm} 为从分销/回收中心 j 运往制造/再制造集成工厂 i 的可再制造的废弃产品数量。

参数:

fc_i^m 为在 i 地开设制造/再制造集成工厂的固定成本; fc_j^d 为在 j 地开设分销/回收中心的固定成本; vc_{ij}^{nm} 为制造/再制造集成工厂 i 生产新产品并运往分销/回收中心 j 的单位变动成本,其中包括单位制造成本和单位运输成本; vc_{ij}^{md} 为制造/再制造集成工厂 i 生产再制造产品并运往分销/回收中心 j 的单位变动成本,其中包括单位制造成本和单位运输成本; vc_{jl}^{dc} 为新产品和再制造产品由分销/回收中心 j 运往消费区域 l 的单位变动成本,其中包括库存成本和单位运输成本; vc_{lj}^{cd} 为废弃产品由消费区域 l 运往分销/回收中心 j 的单位变动成本,其中包括收集成本、单位运输成本和库存成本; vc_{ji}^{rdm} 为可再制造的废弃产品由分销/回收中心 j 运往制造/再制造集成工厂 i 的单位变动成本,其中包括处理成本和单位运输成本; pc_l 为消费区域 l 的新产品或再制造产品需求未得到满足时的单位违约成本; dc_l 为超量供应给消费区域 l 的剩余产品的单位处理成本; $d_l(\otimes)$ 为消费区域 l 的新产品或再制造产品的需求量,其为灰色参量; mc_i^m 为制造/再制造集成工厂 i 的新产品的最大生产能力; mc_i^d 为制造/再制造集成工厂 i 的再制造产品的最大生产能力; mc_j^p 为分销/回收中心 j 对新产品和再制造产品的最大服务能力; mc_j^d 为分销/回收中心 j 对废弃产品的最大处理能力; $\omega_j(\otimes)$ 为分销/回收中心 j 的废旧产品的废弃率,其为灰色参量。

2.3 模型建立

带有灰色参数的制造/再制造集成物流网络灰色优化模型如下:

$$\min TC = \sum_{i=1}^I f c_i^m \alpha_i^m + \sum_{j=1}^J f c_j^d \beta_j^d + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (v c_{ij}^{nm} q_{ij}^{nm} + v c_{ij}^{rm} q_{ij}^{rm}) + \sum_{j=1}^J \sum_{l=1}^L (v c_{jl}^{dc} \times q_{jl}^{dc}) + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J v c_{ij}^{cd} q_{ij}^{cd} + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I v c_{ji}^{rdm} q_{ji}^{rdm} + \sum_{l=1}^L p c_l \times \max \left(d_l(\odot) - \sum_{j=1}^J q_{jl}^{dc}, 0 \right) + \sum_{l=1}^L d c_l \times \max \left(\sum_{j=1}^J q_{jl}^{dc} - d_l(\odot), 0 \right) \quad (1)$$

s. t.

$$\sum_{i=1}^I \left(q_{ij}^{nm} + q_{ij}^{rm} \right) = \sum_{l=1}^L q_{jl}^{dc}, j = 1, \dots, J; \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^J q_{ji}^{rdm} = \sum_{j=1}^J q_{ij}^{rm}, i = 1, \dots, I; \quad (3)$$

$$\sum_{l=1}^L q_{jl}^{dc} (1 - \omega_j(\odot)) = \sum_{i=1}^I q_{ji}^{rdm}, j = 1, \dots, J; \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^J q_{ij}^{nm} \leq m c_i^n \alpha_i^m, i = 1, \dots, I; \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^J q_{ij}^{rm} \leq m c_i^r \alpha_i^m, i = 1, \dots, I; \quad (6)$$

$$\sum_{l=1}^L q_{jl}^{dc} \leq m c_j^p \beta_j^d, j = 1, \dots, J; \quad (7)$$

$$\sum_{l=1}^L q_{jl}^{cd} \leq m c_j^d \beta_j^d, j = 1, \dots, J; \quad (8)$$

$$\alpha_i^m, \beta_j^d \in \{0, 1\}, i = 1, \dots, I, j = 1, \dots, J; \quad (9)$$

$$q_{ij}^{nm}, q_{ij}^{rm}, q_{jl}^{dc}, q_{ij}^{cd}, q_{ji}^{rdm} \geq 0, i = 1, \dots, I, j = 1, \dots, J, l = 1, \dots, L. \quad (10)$$

其中,目标式(1)表示在设计制造/再制造集成物流网络时,使得该网络的各项设施投资和运营成本总和最小。式(2)~式(4)描述了物流量的守恒条件;式(5)~式(8)表示各种设施的能力限制;式(9)规定了位置变量为0~1变量;式(10)表示决策变量的非负约束条件。

2.4 模型处理

灰数是在某一区间或某个一般的数集内取值的不确定数,通常用记号“ $\odot$ ”表示。对于区间灰数 $\odot \in [a, b]$,一般将其进行等权白化处理,其等权白化值 $\tilde{\odot}$ 为: $\tilde{\odot} = \alpha a + (1 - \alpha) b, \alpha \in [0, 1]$ 。当 $\alpha = 1/2$ 时得到的白化值称为等权均值白化。当区间灰数取值的分布信息缺乏时,常采用等权均值白化;当灰数的分布信息已知时,常常采取非等权白化^[10]。对上述模型中存在的两个灰色参量 $d_l(\odot)$ ($d_l(\odot)$)

$[d_l, \bar{d}_l]$, $d_l \geq 0, l = 1, 2, \dots, L$) 和 $\omega_j(\odot)$ ($\omega_j(\odot) \in [\omega_j, \bar{\omega}_j], \omega_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, J$) 进行等权白化处理,其白化值可表示为: $\tilde{d}_l(\odot) = \alpha d_l + (1 - \alpha) \bar{d}_l, \alpha \in [0, 1]$, $\tilde{\omega}_j(\odot) = \beta \omega_j + (1 - \beta) \bar{\omega}_j, \beta \in [0, 1]$ 。通过对上述灰色规划模型的白化处理,就可以将灰色优化模型转化为确定型的混合整数规划模型,再通过优化软件对确定型模型进行求解,从而构建出合理的制造/再制造集成物流网络。

3 数值仿真分析

假设某企业打算构建一个制造/再制造集成物流网络。根据市场调研可知,有6个消费区域;有5个制造/再制造集成工厂备选地点,其开设的固定成本 $f c_i^m$ 分别为53万元、55万元、52万元、54万元、50万元;有3个分销/回收中心备选地点,其开设的固定成本 $f c_j^d$ 分别为9.8万元、9.5万元、9.6万元;消费区域的新产品或再制造产品的需求量 $d_l(\odot)$ 的范围分别为 $d_1(\odot) \in [1050, 2100]$, $d_2(\odot) \in [1100, 2200]$, $d_3(\odot) \in [1450, 2900]$, $d_4(\odot) \in [1300, 2600]$, $d_5(\odot) \in [1250, 2500]$, $d_6(\odot) \in [1150, 2300]$,单位为台;分销/回收中心的废旧产品的废弃率 $\omega_j(\odot)$ 的范围分别为 $\omega_1(\odot) \in [0.25, 0.26]$, $\omega_2(\odot) \in [0.22, 0.32]$, $\omega_3(\odot) \in [0.19, 0.27]$,其他相关数据如表1~表7所示。

表1 i生产新产品和再制造产品并运往j的

单位变动成本 $v c_{ij}^{nm}$ 和 $v c_{ij}^{rm}$ 元

$i \backslash j$	1	2	3
1	267	69	263
2	236	87	282
3	245	73	254
4	255	70	269
5	238	81	247

表2 j运往l的单位变动成本 $v c_{jl}^{dc}$ 元

$j \backslash l$	1	2	3	4	5	6
1	5.5	6.8	4.6	5.7	7.0	6.4
2	4.9	5.5	6.5	6.1	6.2	5.4
3	5.0	6.6	5.3	6.9	5.7	5.6

表3 l运往j的单位变动成本 $v c_{lj}^{cd}$ 元

$l \backslash j$	1	2	3
1	26	31	30
2	30	27	28
3	21	24	25
4	29	37	35
5	31	20	25
6	28	32	31

表 4 j 运往 i 的单位变动成本 vc_{ji}^{rdm} 元

$\begin{matrix} i \\ j \end{matrix}$	1	2	3	4	5
1	9	14	15	12	13
2	13	7	10	11	12
3	10	12	16	11	15

表 5 l 的新产品或再制造产品需求未得到满足时的单位违约成本 pc_l 和超量供应时剩余产品的单位处理成本 dc_l 元

l	1	2	3	4	5	6
pc_l	30	35	40	30	45	35
dc_l	15	20	25	15	30	20

表 6 i 生产新产品的最大生产能力 mc_i^n 和再制造产品的最大生产能力 mc_i^r 台

i	1	2	3	4	5
mc_i^n	9000	9100	9000	9200	9000
mc_i^r	5000	4000	4000	4500	4600

表 7 j 对新产品与再制造产品的最大服务能力 mc_j^p 和对废弃产品的最大处理能力 mc_j^d 台

j	1	2	3
mc_j^p	8500	9500	9900
mc_j^d	6000	7000	7500

采用优化软件 LINGO11 对模型进行求解,得到目标函数的最优值为 $TC^* = 2688117$ 元;位置变量 α_i^m 与 β_j^d 的最优解为 $\alpha_1^m = 1$ 、 $\alpha_6^m = 1$ 、 $\beta_1^d = 1$ 、 $\beta_2^d = 1$;从制造/再制造集成工厂 i 运往分销/回收中心 j 的新产品数量 q_{ij}^{nm} 的最优解是 $q_{51}^{nm} = 1370$;从制造/再制造集成工厂 i 运往分销/回收中心 j 的再制造产品数量 q_{ij}^{md} 的最优解为 $q_{12}^{md} = 5000$ 、 $q_{51}^{md} = 4580$;从分销/回收中心 j 运往消费区域 l 的新产品和再制造产品的总共数量 q_{jl}^{dc} 的最优解如表 8 所示;从消费区域 l 运往分销/回收中心 j 的废弃产品的数量 q_{lj}^{dd} 的最优解为 $q_{31}^{dd} = 6000$ 、 $q_{52}^{dd} = 7000$;从分销/回收中心 j 运往制造/再制造集成工厂 i 的可再制造的废弃产品数量 q_{ji}^{rdm} 的最优解为 $q_{11}^{rdm} = 4470$ 、 $q_{21}^{rdm} = 530$ 、 $q_{25}^{rdm} = 4580$,其中未列出的变量值均为 0。

表 8 从 j 运往 l 的新产品和再制造产品的总共数量 q_{jl}^{dc} 的最优值

q_{11}^{dc}	q_{13}^{dc}	q_{14}^{dc}	q_{15}^{dc}	q_{22}^{dc}	q_{25}^{dc}	q_{26}^{dc}
1575	2175	1950	250	1650	1625	1725

根据以上计算结果,可知在集成工厂备选地 1 和备选地 5 建设集成工厂;在分销/回收中心备选地 1 和备选地 2 建设分销/回收中心,并按计算结果分配物流量。

4 结论

本文考虑到再制造逆向物流网络系统的不确定性,将网络中新产品与再制造产品的需求量和废弃产品的质量表示为灰色参量,建立了灰色环境下的制造/再制造集成物流网络优化设计模型,然后利用灰色系统理论的有关知识对灰色规划模型进行处理,从而得到确定型优化模型,最后利用优化软件求解确定型模型。由于逆向物流网络设计涉及的要素众多,而且随着环境的不断变化,该领域还将不断出现新的特征和问题,所以如何将更多的不确定因素融入模型之中是进一步要研究的问题。

参考文献

[1] JAYARAMAN V, GUIDE J V, SRIVASTAVA R A closed-loop logistics model for remanufacturing[J]. Journal of the Operational Research Society,1999,50(5):497-508.

[2] FLEISCHMANN M Quantitative models for reverse logistics[M]. Berlin :Springer-Verlag,2001 :3-5.

[3] 马祖军,代颖,刘飞. 再制造物流网络的稳健优化设计[J]. 系统工程,2005,23(1):74-78.

[4] 代颖,马祖军. 基于二阶段随机规划的制造再制造集成物流网络优化设计[J]. 系统工程,2006,24(3):8-14.

[5] 代颖. 再制造物流网络优化设计问题研究[D]. 成都:西南交通大学,2006.

[6] 马祖军,代颖,刘飞. 制造/再制造集成物流网络设计的随机规划模型[J]. 中国机械工程,2006,17(9):902-906.

[7] 马祖军,代颖. 基于稳健优化的制造/再制造集成物流网络设计[J]. 西南交通大学学报,2006,41(5):614-619.

[8] 岳辉,钟学燕,叶怀珍. 随机环境下再制造逆向物流网络优化设计[J]. 中国机械工程,2007,15(4):442-44.

[9] 狄卫民,胡培,马祖军,等. 基于随机规划的制造/再制造物流网络优化设计[J]. 系统仿真学报,2008,20(9):2368-2374.

[10] 刘思峰,郭天榜,党耀国,等. 灰色系统理论及其应用[M]. 第二版. 北京:科学出版社,2000:10-11.

(下转第 124 页)

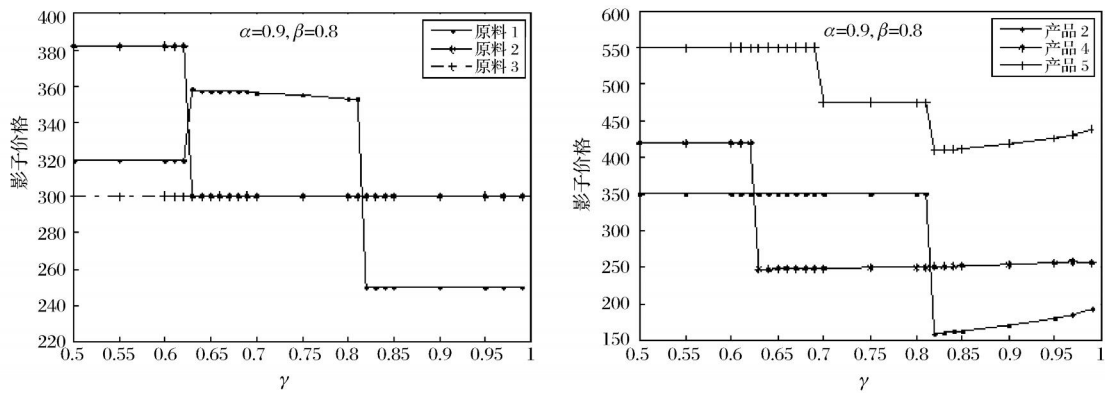


图 5 T 供应链资源最优配置下原料和产品影子价格随 γ_k 变化情况

参考文献

[1] Swaminathan J M,Smith S F,Sadeh N M. Modeling supply chain dynamics: a multi agent approach[J]. Decision Sciences,1998 ,29(3) :607-608

[2] 李龙洙. 制造业供应链的协调问题探讨[J]. 航空制造技术 ,2002(5) :42-44

[3] 迈克尔·波特. 竞争优势[M]. 陈小悦,译. 北京:华夏出版社 ,1997. 36-60

[4] 郑霖,马士华. 供应链是价值链的一种表现形式[J]. 价值工程 ,2002 ,9(1) :9-12

[5] 裴正兵. 价值链管理与作业成本法的有机结合:双向增值法[J]. 财会月刊,2003(A1) :48-49

[6] 刘义鹍. 价值链中节点企业之间关系的协调机制研究[R]. 厦门:厦门国家会计学院,2005.

[7] 谷慧玲,朱静,李丽杰. 供应链、价值链与作业成本法的有机结合[J]. 物流管理 ,2007(8) :22-23

Supply Chain Stochastic Optimization Based on Value Chain Analysis

Xu Yuqing , Zhou Jishuai

(School of Economics and Management ,Tsinghua University ,Beijing 100084 ,China)

Abstract : In this paper ,the relation between supply chain and value chain is analyzed ,and it is pointed that supply chain coordination and optimization must be considered from the whole system. Considering all kinds of random factors ,basing on value chain analysis ,stochastic models of manufacturing supply chain and flow supply chain are established respectively. In addition ,a numerical exam is given to analyze how the random factors and significance level chosen by the decision maker affect the supply chain optimal structure of resources allocation.

Key words : supply chain coordination and optimization ; value chain analysis ; stochastic linear programming ; shadow price

(上接第 117 页)

Optimization Design on the Manufacturing/ Remanufacturing Integrated Logistics Network under Grey Environment

Bai Mingguo , Yu Jia

(School of Management ,Anhui University of Technology ,Maanshan Anhui 243002 , China)

Abstract : Considering the uncertainties of the products' demand and the damaged conditions of disused products , a grey optimal design model of a manufacturing/ remanufacturing hybrid logistics is presented by expressing the uncertain parameters with grey numbers. The grey model is translated into the specified equivalent model with the grey whitenization method. The deterministic model is solved using the optimal software. Finally ,the validity of the network design method is demonstrated by a numerical example.

Key words : manufacturing/ remanufacturing ;network design ;equal weight whitenization ;grey programming