

面向电网企业的仓储配送 网络优化模型构建与实证研究

高正平 张 盛 韩 飞 郭 伟

【摘 要】合理的仓储配送网络是提升物资配送效率、降低仓储运营成本、优化资源配置和提升服务水平的关键。为解决当前电网物资仓储资源配置不均衡、协议库存分散、网络规划层次局限等问题,文章通过构建 Advanced-CFLP 模型对现有仓储配送网络进行优化。首先,从模型的核心要素出发,说明模型考虑的关键点,即服务、成本和能力;其次,针对核心要素构建 Advanced-CFLP 主模型和子模型,列出约束条件,阐述模型运算流程;最后,通过南方某省电网仓储配送网络规划的实际案例,验证所建模型的有效性,结果表明模型输出方案能够有效提升仓储配送工作质效,验证了所建模型的有效性。

【关键词】电网物资;仓储配送;网络优化;Advanced-CFLP 模型

【作者简介】高正平(1976-),男,江苏扬州人,国网江苏省电力有限公司研究员级高级工程师,研究方向:电网物资供应链管理;张盛(1978-),男,江苏南京人,国网江苏省电力有限公司高级工程师,研究方向:电网物资供应链管理;韩飞(1982-),男,江苏南京人,国网江苏省电力有限公司高级工程师,研究方向:电网物资供应链管理(南京 210024);郭伟(1976-),男,江苏扬州人,江苏安方电力科技有限公司高级工程师,研究方向:电网物资供应链管理(泰州 225300)。

【原文出处】《供应链管理》(京),2021.12.115~124

【基金项目】国网江苏省电力有限公司科技项目“面向柔性、精益的仓储网络规划技术研究”(J2021099)。

一、引言

目前,仓储配送成为提升电网整体供应链水平的关键环节之一。进行电网仓储配送网络研究,建立运行畅、结构优、质量高的仓储配送网络体系,无论是对于公司深化挖潜增效、降本提质,还是对服务新业态、满足新要求、支撑新发展,都具有重要意义。

当前电网物资仓储配送存在的问题主要体现在四个方面:①仓储资源配置时空不均,库容利用率呈季节性波动,部分仓库间服务半径重叠,资源配置有待优化。②协议库存分散,仅少部分集中储备于区域配送中心,全省安全库存水平高。③网络规划层次单一,多停留在仓库选址层面,未实现全局性、系统性、集成化最优。④数字化管理水平有限,数据测算精度不足。

针对仓储配送问题,国内外学者分别从运用启

发式算法^[1-4]、精确求解算法^[5-7],构建离散型选址模型^[8-10]、连续型选址模型^[11-12]以及采用定性分析法^[13-14]等一系算法模型进行研究。比较仓储配送网络规划常用方法优缺点,定性法过于主观,量化不足,常用于辅助定量法规划;网络规划属 NP-hard 难题,数学模型计算较科学,但对算力要求高,甚至无法求得最优解^[15-19],因此对于求解模型和算法,需要结合实际问题的特点与需求灵活选用或改进,以提高问题解决的准确性和可靠性。

通过分析电网企业仓储配送网络实际情况及其特点,可以发现电力企业仓储配送网络规划符合典型的有容量限制设施选址问题(CFLP)^[20-22]。为解决前述问题,文中综合考虑服务、成本和能力,结合电网企业特点与管理需求,对典型 CFLP 模型进行改良、优化,构建了更具针对性的 Advanced-CFLP 模

型。模型运用遗传算法进行求解,应用仓储配送网络规划辅助决策系统进行算例分析,设置服务保障率、库存周期、补库间隔期等业务参数,在静态总量数据基础上输出总成本最低的网络方案,结果验证了 Advanced-CFLP 模型的有效性。

二、问题描述与核心要素

(一)问题描述

已知有 M 个仓库、 N 个需求单位,共 K 类需求物资,其中 K_1 类物资为定额储备模式, K_2 类物资为入库中转模式。现需从 M 个仓库中选取若干作为区域库、若干作为周转库,确定区域库与周转库、周转库与需求单位之间的网络辐射关系,并确定区域库、周转库分别存储的物资种类及数量,使仓储配送网络整体成本最优,对比现有规划模型特点,可知该问题符合典型的有容量限制设施选址问题(CFLP),属于 NP-hard 规划问题。

(二)核心要素

为全面优化仓储配送网络,文中综合考虑了服务、成本和能力三个核心要素。具体为:

(1)以满足服务保障水平为前提。在仓储配网络规划模型中考虑服务保障率、库容利用率等因素,在提高物资供应服务水平前提下寻找降低成本的网络方案。

(2)以仓储物流成本最优为目标。成本是影响仓储网络布局的重要因素,综合考虑仓储配送各环节业务,确定仓储物流成本构成:仓库和设备租赁成本、仓库运营成本、存货持有成本、运输成本。

(3)以符合仓库能力要求为约束条件。统筹考虑物资存放要求、存储条件、仓库库容能力等约束条件,规避因规划不合理或本身能力不足出现的仓库爆仓或利用率不足等情况。

三、Advanced-CFLP 仓储配送网络优化模型

(一)模型符号说明

为更好理解文中所建模型,首先对模型中所涉及的符号进行说明,模型中各符号含义如下:

F_t^1 : 区域库 t 的租赁费;

F_i^2 : 周转库 i 的租赁费;

$r_{K_1}^1$ 、 $r_{K_2}^2$: 物资 K 的运输费率;

d_{it}^1 : 区域库 t 与周转库 i 之间的距离,为实际行程

距离;

d_{ij}^2 : 周转库 i 与需求单位 j 之间的距离,为实际行车距离;

$E_j^{K_1}$ 、 $E_j^{K_2}$: 需求单位 j 对物资 K 的年需求总量;

$b_1^{K_1}$ 、 $b_2^{K_2}$: 物资 K 的最小包装单元的重量;

$q_1^{K_1}$ 、 $q_2^{K_2}$: 物资 K 的最小包装单元数量;

$p_1^{K_1}$ 、 $p_2^{K_2}$: 物资 K 的平均中标单价;

R : 银行贷款利率;

a 、 b 、 c 、 θ : 与作业量、库存相关的运营成本可变费用参数;

M_t^{1g} : 区域库 t 中 g 型号货位的总数量;

M_i^{2g} : 周转库 i 中 g 型号货位的总数量;

H^g : g 型号货位的高度,若物资为平置区码放存储,则为物资码放高度;

W^g : g 型号货位的宽度;

C^g : g 型号货位的长度;

B^g : g 型号货位的承重;

$h_1^{K_1}$ 、 $h_2^{K_2}$: 物资 K 的最小包装单元的高度;

$W_1^{K_1}$ 、 $W_2^{K_2}$: 物资 K 的最小包装单元的宽度;

$C_1^{K_1}$ 、 $C_2^{K_2}$: 物资 K 的最小包装单元的长度;

SS : 安全库存量;

d : 单位时间内需求均值;

σ : 单位时间内需求的标准差;

δ_t : 订货提前期的标准差;

L : 订货提前期均值;

σ_D : 订货提前期内需求的标准差;

z : 服务水平对应的标准正态分布函数的反函数值;

E : 出入库金额;

I : 平均库存金额;

$a > 0$ 、 $b > 0$ 、 c 为可变成成本系数;

$0 < \theta < 1$ 为运营成本规模效应系数。

(二)Advanced-CFLP 仓储配送网络优化模型

1. 目标函数

以整体仓储物流成本最优为目标函数,包括仓库和设备租赁费、仓库运营成本、存货持有成本、物资转运配送成本、需求单位领料运输成本,其中运营成本包括仓库管理成本、仓库作业成本、仓库运维成本。成本越低,表明规划后网络布局越优,文中以总

成本最小化为模型的目标函数,表示如下:

$$\begin{aligned} \min f = & \sum_{i=1}^M z_i^1 F_i^1 + \sum_{i=1}^M z_i^2 F_i^2 - \sum_{i=1}^M z_i F_i^2 + \sum_{i=1}^M z_i^1 Y_i^1 + \sum_{i=1}^M z_i^2 Y_i^2 + \\ & \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \sum_{k_1=1}^{K_1} z_i^1 \beta_{ij}^{K_1} \omega_{ij}^{K_1} r_i^{K_1} d_{ij}^{K_1} E_j^{K_1} b_i^{K_1} / q_i^{K_1} + \\ & \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \sum_{k_1=1}^{K_1} z_i^2 \omega_{ij}^{K_1} r_i^{K_1} d_{ij}^{K_1} E_j^{K_1} b_i^{K_1} / q_i^{K_1} + \\ & \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \sum_{k_2=1}^{K_2} z_i^2 \omega_{ij}^{K_2} r_i^{K_2} d_{ij}^{K_2} E_j^{K_2} b_i^{K_2} / q_i^{K_2} + \\ & \left(\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \sum_{k_1=1}^{K_1} z_i^1 \varphi_{ij}^{K_1} p_i^{K_1} \tilde{I}_i^{K_1} + \sum_{i=1}^M \sum_{k_2=1}^{K_2} z_i^2 p_i^{K_2} I_i^{K_2} \right) R \end{aligned}$$

其中:

$$\textcircled{1} \sum_{i=1}^M z_i^1 F_i^1 + \sum_{i=1}^M z_i^2 F_i^2 - \sum_{i=1}^M z_i F_i^2 \text{ 为区域库与周转库租$$

赁费。

$$\textcircled{2} \sum_{i=1}^M z_i^1 Y_i^1 = c \sum_{i=1}^M \left(a \sum_{j=1}^N \sum_{k_1=1}^{K_1} z_i^1 \varphi_{ij}^{K_1} E_j^{K_1} p_i^{K_1} + b \sum_{j=1}^N \sum_{k_1=1}^{K_1} z_i^1 \varphi_{ij}^{K_1} \tilde{I}_i^{K_1} p_i^{K_1} \right) \theta$$

为区域库运营成本。

$$\textcircled{3} \sum_{i=1}^M z_i^2 Y_i^2 = c \sum_{i=1}^M \left[\sum_{j=1}^N \omega_{ij} Z_i^2 \left[a \left(\sum_{k_1=1}^{K_1} E_j^{K_1} p_i^{K_1} + \sum_{k_2=1}^{K_2} E_j^{K_2} p_i^{K_2} \right) + \right. \right.$$

$\left. b \sum_{k_2=1}^{K_2} I_j^{K_2} p_i^{K_2} \right] \theta$ 为周转库运营成本。

$$\textcircled{4} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \sum_{k_1=1}^{K_1} z_i^1 \beta_{ij}^{K_1} \omega_{ij}^{K_1} r_i^{K_1} d_{ij}^{K_1} E_j^{K_1} b_i^{K_1} / q_i^{K_1} \text{ 为区域库二次}$$

配送运输成本。

$$\textcircled{5} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \sum_{k_1=1}^{K_1} z_i^2 \omega_{ij}^{K_1} r_i^{K_1} d_{ij}^{K_1} E_j^{K_1} b_i^{K_1} / q_i^{K_1} + \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \sum_{k_2=1}^{K_2} z_i^2 \omega_{ij}^{K_2} r_i^{K_2} d_{ij}^{K_2} E_j^{K_2} b_i^{K_2} / q_i^{K_2}$$

为领料增量运输成本。

$$\textcircled{6} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \sum_{k_1=1}^{K_1} z_i^1 \varphi_{ij}^{K_1} p_i^{K_1} \tilde{I}_i^{K_1} + \sum_{i=1}^M \sum_{k_2=1}^{K_2} z_i^2 p_i^{K_2} I_i^{K_2} R \text{ 为库存持$$

有成本。

$$\textcircled{7} \tilde{I} = \frac{\text{周转库存}}{2} + \text{安全库存}$$

$$= \frac{T \cdot d_j^{K_1}}{2} + f^{K_1} \sqrt{L_{K_1} \cdot \sigma_i^{K_1,2} + d_i^{K_1,2} \delta_L^{K_1,2}}$$

$$= \frac{T \cdot \sum_{j=1}^N \varphi_{ij}^{K_1} d_j^{K_1}}{2} + f^{K_1} \sqrt{L_{K_1} \cdot \sum_{j=1}^N \varphi_{ij}^{K_1} \sigma_i^{K_1,2} + \delta_L^{K_1,2} \left(\sum_{j=1}^N \varphi_{ij}^{K_1} d_j^{K_1} \right)^2}$$

为物资 K_1 的平均库存。

$\textcircled{8} I = \text{年需求总量} \times \text{库存周期} / 365$ 为物资 K_2 的平均库存。

$$\textcircled{9} SS = z \sqrt{L \cdot \sum_{j=1}^N \sigma_j^2 + \left(\sum_{j=1}^N d_j \right)^2 \cdot \sigma_L^2} \leq \sum_{j=1}^N SS_j \text{ 为集中储}$$

备模式下的安全库存。

$$\textcircled{10} Y = c \times (aE + bI)^\theta \text{ 为仓储运营成本。}$$

2. 约束条件

仓库的角色分为区域库和周转库,也有的仓库同时具备两种角色。为更达到所求规划目标,前述目标函数主要在以下约束条件下实现。

$$Z_i^1 = \begin{cases} 1, & \text{选取仓库} i \text{ 作为 RDC} \\ 0, & \text{不选仓库} i \text{ 作为 RDC} \end{cases} \quad \textcircled{1}$$

$$Z_i^2 = \begin{cases} 1, & \text{选取仓库} i \text{ 作为 FDC} \\ 0, & \text{不选仓库} i \text{ 作为 FDC} \end{cases} \quad \textcircled{2}$$

$$\beta_{ii}^{K_1} = \begin{cases} 1, & \text{RDC } i \text{ 给 FDC } i \text{ 配送物资 } K_1 \\ 0, & \text{RDC } i \text{ 不给 FDC } i \text{ 配送物资 } K_1 \end{cases} \quad \textcircled{3}$$

$$\omega_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{FDC } i \text{ 对需求单位 } j \text{ 服务} \\ 0, & \text{FDC } i \text{ 不对需求单位 } j \text{ 服务} \end{cases} \quad \textcircled{4}$$

$$Z_i = \begin{cases} 1, & i = i \text{ 且 } Z_i^1 Z_i^2 = 1 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad \textcircled{5}$$

$$\sum_{i=1}^M \eta_{ii} = 1, \text{ 当 } \beta_{ii}^{K_1} = 1 \text{ 时, } \eta_{ii} = 1 \quad \textcircled{6}$$

$$\sum_{i=1}^M \omega_{ij} = 1 \quad \textcircled{7}$$

$$Z_i^2 \geq \omega_{ij}; \quad Z_i^2 \leq \sum_{i=1}^N \omega_{ij} \quad \textcircled{8}$$

$$\varphi_{ii}^{K_1} = \beta_{ii}^{K_1} \omega_{ij} \quad \textcircled{9}$$

$$\beta_{ii}^{K_1} d_{ii}^1 \leq R_1 \quad \textcircled{10}$$

$$\omega_{ij} d_{ij}^2 \leq R_2 \quad \textcircled{11}$$

$$\sum_{g=1}^G z_i^1 X_i^{gK_1} = \tilde{I}_i^{K_1}, \quad \tilde{I}_i^{K_1} \text{ 是 } \varphi_{ij}^{K_1} \text{ 的函数} \quad \textcircled{12}$$

$$\sum_{g=1}^G z_i^2 Y_i^{gK_2} = \sum_{j=1}^N \omega_{ij} I_i^{K_2} \quad \textcircled{13}$$

$$\sum_{k_1=1}^{K_1} z_i^1 \left[\frac{X_i^{gK_1}}{q^{gK_1}} \right] \leq M_i^{1g} \omega_i^1 \quad \textcircled{14}$$

$$\sum_{k_2=1}^{K_2} z_i^2 \left[\frac{Y_i^{gK_2}}{q^{gK_2}} \right] \leq M_i^{2g} \omega_i^2 \quad \textcircled{15}$$

$$\sum_{i=1}^M Z_i^1 \geq 1 \quad \textcircled{16}$$

$$q^{gK} (\text{含 } q^{gK_1} q^{gK_2}) \text{ 遵循如下逻辑:} \quad \textcircled{17}$$

if 货位类型为货架:

if 物资只能存放在平置区:

$$q^{gk} = \text{极小值} \quad (17-1)$$

else:

$$E = \min(q^k [H^g/h^k] [W^g/w^k] [C^g/C^k], q^k [B^g/b^k]);$$

$$q^{gk} = \begin{cases} \text{极小值}, E = 0 \\ E, E \neq 0 \end{cases} \quad (17-2)$$

if 货位类型为平置:

if 物资堆码存放:

$$q^{gk} = q^k [H^g/(h^k w^k C^k)] \quad (17-3)$$

if 物资单体存放:

$$q^{gk} = 1/(w^k c^k) \quad (17-4)$$

3. 约束条件说明

①、②、③、④约束条件中变量为0-1变量;

⑤ $Z_i=1$ 时,即仓库*i*既是区域库又是周转库;

⑥一个周转库只能由一个区域库辐射;

⑦需求单位仅至一个周转库领料;

⑧需求单位仅可至保留的周转库领料;

⑨区域库*t*是否存储需求单位*j*物资 K_i 取决于区域库*t*是否给周转库*i*配送物资 K_i 以及周转库*i*与需求单位*j*的辐射关系;

⑩区域库与周转库的配送距离不得超过 R_1 ;

⑪周转库与需求单位之间的距离不超过 R_2 ;

⑫区域库各类型货架存储的物资总数等于 K_i 类物资平均库存水平;

⑬周转库各类型货架存储的物资总数等于 K_2 类物资平均库存水平;

⑭区域库各类型货位的需求数量不得超过其可用货位数量,当区域库也是周转库时,可用货位数量还要满足周转库物资存放量;

⑮周转库各类型货位的需求数量不得超过其可用货位数量;

⑯至少有1个区域库;

⑰-1 针对货架区,如果物资只能存放在平置区,为避免分子为0,单个货位可存储物资数量取极小值;

⑰-2 针对货架区,单个货位可存储物资的数量取货位尺寸和承重可承担的最小值,若可承载量为0,为避免分子为0,单个货位可存储物资数量取极小值;

⑰-3 针对平置区堆码存放物资,一平方米可存放的物资数量;

⑰-4 表示平置区单体存放物资,一平方米可存放的物资数量。

(三)基于 Advanced-CFLP 模型的规划过程

为了求解有容量限定的两级仓储网络结构规划问题,文中提出了基于遗传算法的免疫改进算法。具体算法流程步骤如下:

(1)随机初始化*N*个方案,放入方案集;

(2)根据方案成本计算公式,计算所有规划方案的成本,并且计算个体方案的编码的浓度,以确定方案的亲和度;

(3)根据方案的亲和度选择哪些方案可以被选择和遗传,免疫算法的核心就是通过抑制高浓度的网络结构以避免方案演进走向单一化,保持多样性;

(4)对选择的方案编码进行交叉和变异,连同记忆因子一起产生新一代方案集。交叉和变异由交叉概率和变异概率决定,催化更高效和有效的演进,防止方案集无法收敛,交叉和变异方式也根据网络规划约束条件的特点进行定制,防止方案集早熟;

(5)判断每个方案是否满足约束条件,如果不满足约束条件则根据约束条件对方案进行修正。主约束条件为仓库容量限制和两级供应网络结构约束。

规划流程如图1所示。

(四)模型结果说明

优化过程中,基于开发的辅助决策系统,运用改进后免疫算法对 Advanced-CFLP 模型进行求解,针对不同场景自定义管理参数,输出一系列最优方案决策集合。由于在模型加入了一系列可变系数(如运营成本中的可变成本系数 a, b, c, θ),使得整个规划模型处于动态规划之中,随着参数的变化,能够动态计算不同条件下最优方案的库存、成本等数值,同时还可以在同一参数下,根据实际业务需要或经验调整网络布局,快速输出方案及相应指标值,辅助最终决策规划。对各方案输出目标值,构建形成服务保障率与成本的外包络曲线(如图2所示),表明服务保障率要求越高,所需要的成本越大。同时,每一服务保障率下,有多种规划方案(成本),最终所有方案的成本都在包络线附近及内部,其中包络线附近成

本为每个服务保障率下方案最小成本。

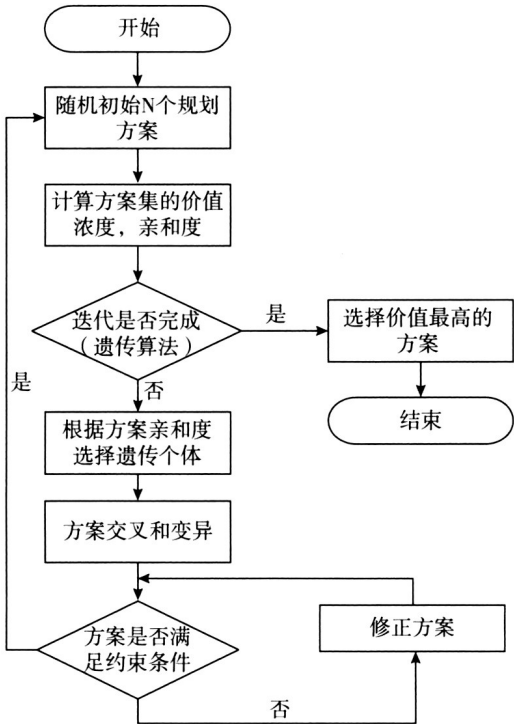


图1 规划流程示意

四、算例分析

以某省电网公司仓储配送网络规划的实际案例进行分析。目前,某省电网公司全省主业单位共有76座注册库,形成了以“5个区域配送中心+14个市周转库+57个县终端库”为节点的三级仓储网络架构。对这76座仓库进行网络规划。

表1 设置仓储管理基本参数

序号	参数名称	参数值
1	服务水平	95%
2	立体库可使用率	70%
3	室内平置可使用率	75%
4	室外平置可使用率	60%
5	区域库辐射半径/千米	150
6	运输费率/(元/吨·公里)	2
7	入库中转类物资库存周期/天	30
8	常态补库间隔期/周	4
9	迎峰度夏补库间隔期/周	2
10	物资抽检周期/周	2
11	出入库金额可变成本系数(a)	1
12	平均库存金额可变成本系数(b)	12
13	可变成本系数(c)	0.036
14	运营成本规模效应系数(θ)	0.82

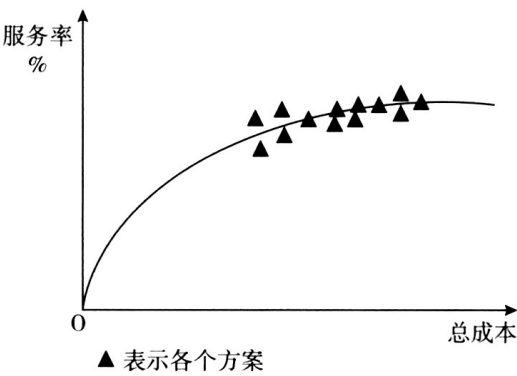


图2 仓储配送网络方案服务—成本包络线

借助辅助决策系统,利用 Advanced-CFLP 模型进行规划,采用改进后免疫算法,在优化物资供应模式的基础上,对76座仓库进行规划,选取若干作为区域库,用于存储定额储备类物资,选取若干仓库作为周转库,用于暂存入库中转类物资,并确定区域库与周转库、周转库与需求单位之间的网络辐射关系及各类物资库存数量,使仓储配送网络整体成本最优。

首先综合考虑物资供应与仓储管理实际情况,设定一系列管理参数要求,其中a、b、θ为基于仓库运营成本调研统计和仓库运营管理经验,拟合运营成本函数系数值,详情如表1所示。

规划后输出最优方案,形成“14个区域库+55个周转库”的两级仓储网络,释放了7座仓储资源,基本情况与规划前对比如下页表2所示。

表2中成本率是对应成本项与实体库出库总金额

表2 规划前后变化对比情况

指标类型	规划前	规划后
成本费率	3.98%	2.93%
租赁成本率	0.86%	0.70%
单位面积租赁成本/元	161.02	161.77
运营成本率	2.23%	1.60%
人均运营成本/万元	30.55	26.84
单位面积运营成本/元	416.01	368.15
运输成本率	0.17%	0.15%
持有成本率	0.72%	0.48%
库存周转天数	52	41.66

额(需求)的比率,即运转一单位物资所需成本,总体看规划后呈下降趋势;人均运营成本和单位面积运营成本也呈下降趋势;库存周转天数由原来的52天下降为42天,大大缩减了物资在库时间,提高了物资周转效率,降低资金占用时间。优化后网络释放了7座仓储资源,优化网络的同时,充分提高了全省仓库利用率,释放的仓储资源还可采取退租、外租等手段降低成本或获取收益。

五、结论

针对电网企业仓储配送网络优化问题,在深入研究仓储配送网络规划问题基础上,建立了Advanced-CFLP模型,运用改进后免疫算法求解问题,并借助决策辅助系统,输出给定约束条件下的最优方案。相比于常用的网络规划模型,该模型具有四个方面的优点:①是在既定仓库范围内和有多重限制条件下,进行仓储配送网络布局优化;②区别于传统以单一成本为目标,综合考虑服务水平与成本双重目标;③精准考虑“物料—货位—仓库”映射关系,将传统仓库级网络规划精细至物料与货位级规划;④综合考虑了具有网络集约效应的库存持有成本和具有管理规模效益的动态运营成本,成本测算更加精益。通过案例实证,本规划模型能够实现更加全面、科学、精细的网络优化,充分满足电网物资类别繁杂、货架型号多等特殊需求,在保证一定服务水平的前提下,统筹优化仓储网络布局,释放仓储资源,降低仓储物流成本,有效提高仓储配送网络运行效果。

参考文献:

[1]汤雪松,邓勇,刘鑫,等.基于RW-GA的电力物资配送

多目标路径优化[J].重庆理工大学学报(自然科学),2021,35(7):161-168.

[2]杨东宁,张志生.基于蚁群算法的电力急救包应用与补仓配送研究[J].现代科学仪器,2021,38(3):256-259.

[3]生力军.基于量子粒子群算法的物流配送中心选址[J].科学技术与工程,2019,19(11):183-187.

[4]王竹君,朱颖琪,孙界平.基于矩阵分解的电力物资需求预测[J].四川大学学报(自然科学版),2019,56(4):639-644.

[5]LUCIC M C, GHAZZAI H, MASSOUD Y. A Generalized dynamic planning framework for green UAV-assisted intelligent transportation system infrastructure[J]. IEEE Systems Journal, 2020, 14(4): 4786-4797.

[6]谭志龙,王征,薛桂琴,等.基于社会化库存的多回程物流配送问题的拉格朗日松弛算法[J].计算机集成制造系统, 2021, 27(3):965-972.

[7]范江东,徐建斌,孙小江.基于约束理论的配电网物资智能采购配送[J].中国流通经济,2019,33(3):91-101.

[8]ZHANG Z Q. An optimization model for logistics distribution network of cross-border e-commerce based on personalized recommendation algorithm[J]. Security and Communication Networks, 2021: 1-11.

[9]LV W, WU C C. An LP-rounding based algorithm for a capacitated uniform facility location problem with penalties[J]. Journal of Combinatorial Optimization, 2021, 41(4): 888-904.

[10]LI C, WEI Z L. Research on location selection of pre-warehouses based on extended CFLP model[J]. Journal of Physics Conference Series, 2021, 1952(4): 42053.

[11]鲁志玲,秦江涛.基于改进的K-means聚类的多区域物流中心选址算法[J].计算机系统应用,2019,28(8):251-255.

[12]倪卫红,陈太.基于聚类重心法的应急物流配送中心选址[J].南京工业大学学报(自然科学版),2021,43(2):255-263.

- [13]房卓,沈忱,徐杏,等.基于层次分析法的汕头港内陆港选址研究[J].水运工程,2020(12):70-75.
- [14]CHEN Z Y, PENG J J, WANG X K, et al. Solar power station site selection: A model based on data analysis and MCG-DM considering expert consensus[J]. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems. 2020, 39(01): 821-840.
- [15]张晓楠,姜帅,南婧雯.半柔性覆盖的多配送中心路线优化问题研究[J].计算机工程与应用,2021,57(10):225-232.
- [16]ALRIDHA A, SALMAN A M, AL-JILAWI A S. The applications of NP-hardness optimizations problem[J]. Journal of Physics Conference Series, 2021, 1818(1): 12179.
- [17]张苏,吴晨晨,蒋建林,等.连续设施选址:模型、方法

与应用[J].运筹与管理,2020,29(5):84-95.

- [18]ZHANG S, WU C C, JIANG J L, et al. Continuous facility location: Models, methods and applications[J]. Operations Research and Management Science, 2020, 29(5): 84-95.
- [19]莫汉培,陈秋良,张子臻.遗传算法求解电力设施选址问题[J].计算机技术与发展,2016,26(3):197-201.
- [20]王非,徐渝,李毅学.离散设施选址问题研究综述[J].运筹与管理,2006(5):64-69.
- [21]陈中武,张宗祥,秦竞博.考虑时变需求带容量限制的设施选址模型研究[J].经济经纬,2013(5):106-110.
- [22]毕娅,李文锋.基于协同库存和模糊需求的离散选址模型研究[J].统计与决策,2011(6):66-69.

Construction and Empirical Research of Warehouse Distribution Network Optimization Model for Power Grid Enterprises

Gao Zhengping Zhang Sheng Han Fei Guo Wei

Abstract: A reasonable warehousing and distribution network is the key to improving the efficiency of material distribution, reducing warehousing operation costs, optimizing resource allocation and improving service levels. In order to solve the problems of unbalanced distribution of current grid material storage resources, decentralized agreement inventory, and network limitations, this paper optimizes the existing storage and distribution network based on the Advanced-CFLP model. First, elaborate the core elements considered comprehensively by the model, namely services, costs and capabilities; secondly, construct the Advanced-CFLP main model and sub-models for the core elements considered, list the constraints, and elaborate the model calculation process; finally, take a certain provincial power grid company as the example and analyze its warehousing and distribution planning cases to verify the validity of the constructed model. The results show that the output plan can effectively improve the quality and efficiency of warehousing and distribution work, which shows that the constructed model is effective.

Key words: power grid materials; warehousing and distribution; network optimization; Advanced-CFLP model