

课程案例：物流设施选址建模与优化¹

——A 集团配送中心选址

摘要：本案例展示了 A 集团物流配送中心的选址规划。在选址规划中，A 集团主要遵循成本优先的原则，通过建立数学规划模型，从备选方案中选择最优的 RDC 组合，实现了 A 集团物流配送网络的优化。

关键词：配送中心选址；0-1 规划；区域配送中心；中央配送中心

1 引言

A 集团由于中心仓库管理幅度过大，配送半径过于宽泛，面对庞大的市场，仓库管理力不从心，于是建立一个区域仓库，集中管理库存。本案例介绍了 A 集团优化其配送网络的过程，通过建立配送中心选址的模型，根据最低成本原则，用 lingo 软件求解，确定最终选址。

2 背景

A 集团在分销供应链的改造项目中，对物流配送网络进行了问题诊断，发现影响配送效率和成本原因有以下几种：

1. 中心仓库管理幅度过大，配送半径过于宽泛，对市场仓库支持力不从心，影响市场货物的及时补充；
2. 从中心仓库往市场仓库每次发货订单的数量相对较小，经常走零担、拼箱，运输成本较高，每次发货对时间要求比较紧急，有时需要加急服务才能满足客户要求；
3. 除了 42 个市场仓库外，分公司、办事处甚至业务员手上有许多隐性仓库，总库存量较多，而且不易管理，运输公司层次较低，由于本身社会货量不足，经常拼车、集货运输，势必影响配送时间；
4. 分公司或办事处之间、市场仓库之间经常需要调拨货物，增加不必要的运输成本，重点市场经常出现断货现象，安全库存储备不足；
5. 市场仓库软硬件环境急需改善，物流对营销系统支持不够，业务员成为送货工。

因此，A 集团为了缩短配送周期，降低公司物流总成本，提高公司市场竞争力，规划在全国 8 个候选大区（青岛、北京、郑州、广州、上海、沈阳、重

¹ 由于企业保密的要求，在本案例中对有关名称、数据等做了必要的掩饰性处理。

庆、西安)中选择合适的几个大区建立区域仓库,使得从已知工厂生产的产品,经过这几个区域仓库,再向全国 44 个市场仓库配送产品时,总的物流运输配送成本和区域仓库运作成本最小。

在此基础上,A集团又分析了建立仓库(RDC)的优势,如下:

1. 缩短交货周期,提高内部客户(分公司、办事处)和外部客户满意度,提高客户服务水平,实现库存和订单可视化和更加透明,为市场及时输送产品;
2. 通过 RDC 可以集中管理库存,起到蓄水池作用,使得采购、生产和配送工作更加连续和均衡,通过中心仓库定期向 RDC 补充库存,减少众多终端库存水平,从而实现库存共享,最终减少总库存和库存持有成本;
3. 减少产品过期和报废损失,减少市场断货的潜在损失,干线运输可以进一步优化运输路径,整车运输变得可能;
4. 建立 RDC 可以增加合规性、参观性,对终端市场有一定的促进作用。

3 优化网络配送的解决思路

首先,运用先进的选址模型,考虑有效配送半径的约束条件下,以物流总成本最小化为目标,整体优化和调整物流配送网络空间结构及分布。

其次,在继续建设好青岛总部基地的中心仓库 CDC 的基础上,在重点销售大区和市场,建立起相应规模的区域仓库 RDC(具体租用面积与销售额挂钩),辐射周边一定数量的分公司、办事处市场仓库 DC,提高对市场仓库的快速补给能力,缩短供应周期,同时分担总部中心仓库的出货压力,提高紧急订单执行效率。

建设好区域仓库后,将终端库存逐渐集中到中心仓库、区域仓库内,实现分公司办事处层面的库存共享,减少库存分散所造成的产品过期报废损失。

最后,完成物流网络优化后,建议总部统一调配和控制中心仓库、区域仓库和市场仓库的库存水平,做到集中统一管理。

优化后的配送网络如图 6-1 所示。

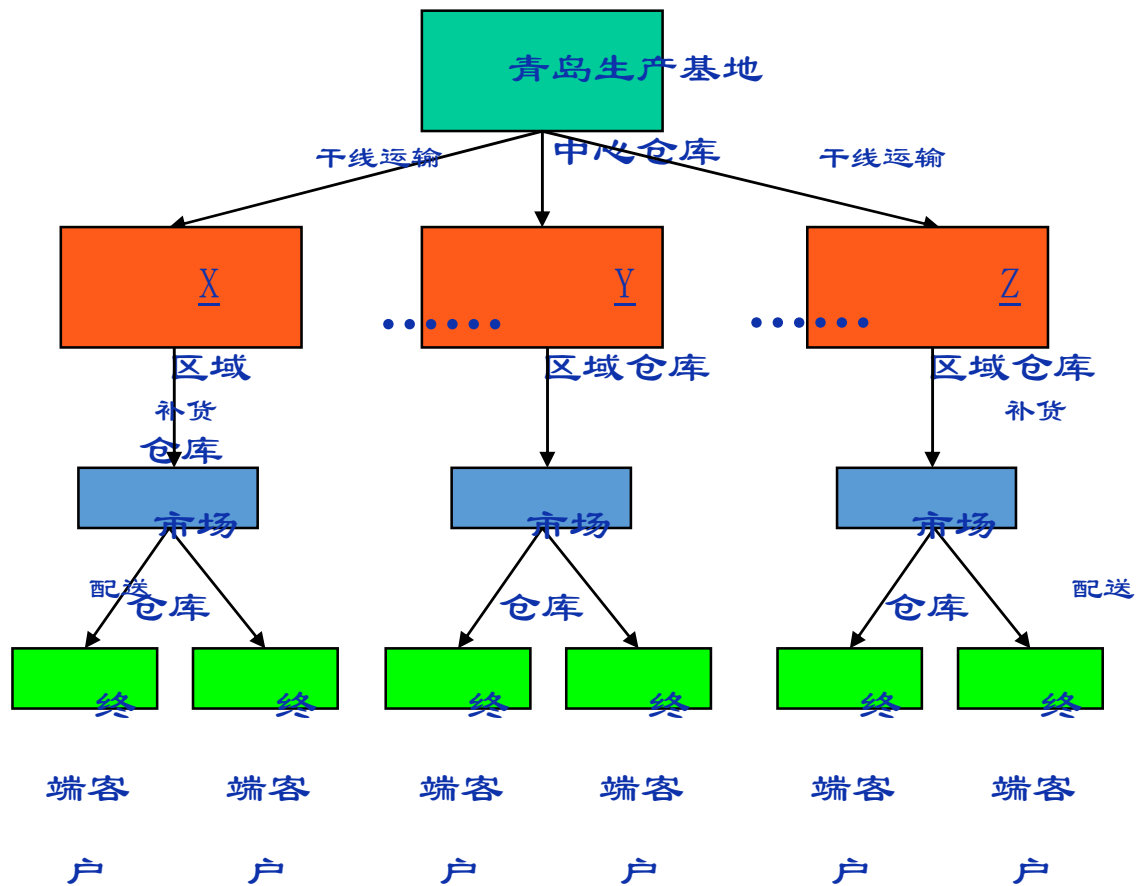


图 6-1 优化后的物流配送网络

区域仓库选址的原则有四条：

- **市场优先**：靠近重点市场区域，本地以及邻近周边城市发货量大：建议直接从现有发货量排名靠前的市场仓库所在地中筛选建设
- **网络优先**：所在城市为国内综合交通运输网络主要网络节点，基础设施发达，具体选址时还要选址建设在邻近市区外环、高速公路、国道和机场的地方，交通管制较弱
- **产业优先**：所在城市仓储、运输和配送快递业发展较好，仓储设施齐备，专线运输公司较多；物流园区、配送中心建设比较健全，周边环境较好
- **成本优先**：总体运营成本具有竞争性，包括劳动力成本、租金、税费等；具体有管理人员和一线操作工人得工资、仓库和办公室的租金、当地税费

我国的公路有 7 大货运市场，13 个始发城市，即 13*45 条城市线路（如图 6-2 所示）。表 6-1 描述了 A 集团初步的配送网络规划，其中初步选定了一个中心仓库位置和 8 个区域仓库位置。

城市	经济区域	城市列表	数量
始发城市	全国	北京、沈阳、上海、郑州、广州、成都、西安、济南、南京、温州、无锡、武汉、昆明	13
到达城市	华北区	北京、天津、石家庄、唐山、太原、呼和浩特	6
	东北区	沈阳、大连、长春、哈尔滨	4
	华东区	上海、南京、徐州、连云港、杭州、宁波、温州、无锡、合肥、福州、厦门、南昌、济南、青岛、烟台	15
	华中区	郑州、武汉、长沙	3
	华南区	广州、深圳、汕头、湛江、南宁、柳州、海口	7
	西南区	成都、重庆、贵阳、昆明、拉萨	5
	西北区	西安、兰州、西宁、银川、乌鲁木齐	5
	合计		45

图 6-2 A 集团配送城市

表 6-1 A 集团初步配送网络规划

仓库种类	个数	所在地区	规划要求
中心仓库 CDC	1 个	青岛	*中心仓库邻近工厂，不改变
区域仓库 RDC	8 个	青岛、北京、郑州、广州、上海、沈阳、成都、西安	*从 8 个候选城市中选取，主要参考国家公路规划、货运市场、所在地的本地发货量 *青岛既是中心仓库，也是区域仓库
市场仓库 DC	44 个	北京、承德、唐山、天津、大连、锦州、沈阳、长春、哈尔滨、大庆、石家庄、太原、保定、包头、呼和浩特、张家口、沧州、上海、杭州、武汉、长沙、福州、厦门、南昌、广州、	*初期不改变 *后期根据分公司和办事处的优化再调整和优化

		成都、贵阳、昆明、重庆、桂林、南宁、兰州、西宁、银川、宝鸡、西安、乌鲁木齐、南京、徐州、合肥、济南、郑州、常州、青岛	*如果 RDC 亦选择在某市场仓库，将合并处理，不分开
--	--	--	-----------------------------

4 建立模型

4.1 模型假设

- (1) 市场仓库的需求量已知；
- (2) 每个市场仓库的需求只能由一个区域仓库供货；
- (3) 候选区域仓库的运营费用已知；
- (4) 从区域仓库到各市场仓库的最大有效配送半径已知；
- (5) 候选区域仓库的容量限制已知。

4.2 符号说明

1) 常量：

$w_j (j=1,2,\dots,44)$ ：市场仓库 j 的产品需求量；

CDC_c ：中心仓库的运营成本；

$c_i (i=1,2,\dots,8)$ ：区域仓库 i 的运营费用，属变动成本，只要用于仓储设施运作费用、员工薪资等；

$DC_c_j (j=1,2,\dots,44)$ ：市场仓库的运营成本；

$cc_j (j=1,2,\dots,44)$ ：市场仓库到顾客终端的每箱单位配送费用；

$b_i (i=1,2,\dots,8)$ ：由工厂到候选区域仓库 i 的单位距离单位货物的运输费率；

$b_{ij} (i=1,2,\dots,8; j=1,2,\dots,44)$ ：由候选区域仓库 i 到市场仓库 j 的单位距离单位货物的运输费率；

$d_i (i=1,2,\dots,8)$ ：由工厂到候选区域仓库 i 之间的距离；

$d_{ij} (i=1,2,\dots,8; j=1,2,\dots,44)$ ：由候选区域仓库 i 到市场仓库 j 的距离；

D ：最大有效配送半径；

2) 决策变量：

$y_i (i=1,2,\dots,8)$: 0,1 变量, 表示是否建立区域仓库*i*。若在*i*建立区域仓库, 取值为 1, 反之则为 0;

$x_{ij} (i=1,2,\dots,8; j=1,2,\dots,44)$: 0,1 变量, 表示是否由区域仓库*i*向市场仓库*j*提供配送服务。若区域仓库*i*向市场仓库*j*送货, 取值为 1, 反之则为 0;

3) 下标:

i: 区域仓库候选节点的个数;

j: 市场仓库候的需求个数;

4.3 模型数学表达式

1) 费用的计算

● 运输费用

分销网络的运输费用可以分为内向运输费用和外向运输费用。内向运输费用指的是由工厂区域仓库之间的运输费用。外向运输费用指的是由区域仓库到市场仓库(零售商/客户)的运输费用。一般来说, 分销网络的层次越少, 总的内向运输费用越小, 外向运输费用越大; 分销网络的层次越多, 总的内向运输费用越大, 外向运输费用越小。

由定义可知, 分销网络的内向运输费用为:

$$\sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^{44} b_i w_j d_i x_{ij}$$

分销网络的外向运输费用为:

$$\sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^{44} b_{ij} w_j d_{ij} x_{ij}$$

网络总的运输费用为:

$$\sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^{44} b_i w_j d_i x_{ij} + \sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^{44} b_{ij} w_j d_{ij} x_{ij}$$

● 区域仓库的运营费用

$$\sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^{44} c_i y_i w_j x_{ij}$$

● 市场仓库的运营费用

$$\sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^{44} DC_{-c_j} * w_j * |y_i - x_{ij}|$$

- 中心仓库的运营费用

$$DC_{-c} * (\sum_{j=1}^{44} w_j - \sum_{j=1}^{44} (1-x_{1j}) * w_j * y_1)$$

注：这里 i=1 即为中心仓库充当区域仓库角色。

- 市场仓库到终端用户的配送费用

$$\sum_{j=1}^{44} cc_j w_j$$

2) 数学模型

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & \sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^{44} b_i w_j d_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^{44} b_{ij} w_j d_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^{44} c_i y_i w_j x_{ij} + \sum_{j=1}^{44} cc_j w_j \\ & + \sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^{44} DC_{-c_j} * w_j * |y_i - x_{ij}| + DC_{-c} * (\sum_{j=1}^{44} w_j - \sum_{j=1}^{44} (1-x_{1j}) * w_j * y_1) \end{aligned} \quad (1)$$

约束条件：

$$x_{ij} \leq y_i \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^I x_{ij} = 1 \quad \forall j \in J \quad (3)$$

$$x_{ij} d_{ij} \leq D \quad (i = 1, 2, \dots, 8; j = 1, 2, \dots, 44) \quad (4)$$

$$y_i, x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (5)$$

目标 (1) 为分销配送系统运输费用和区域仓库运营费用之和最小；式 (2) 保证只有在候选点建立了区域仓库，该区域仓库才能为市场仓库提供产品和服务；式 (3) 限制每一个市场仓库需求点必须且只能接受一个区域仓库的供货；式 (4) 为分销配送的半径限制，本模型半径取得是距离，即由候选仓库到市场仓库的距离不能大于有效配送半径；式 (5) 规定变量为 0, 1 变量。

5 优化方案

根据 Lingo 软件求解得出最终结果，青岛的全国发货量最高，而且平均单位运价低，所以，应将 A 集团的物流配送中心建于青岛。各区域仓库选址及其覆盖范围如表 6-2 所示。

表 6-2 物流配送中心最终布局方案

RDC	覆盖 DC 个数	覆盖 DC 所在城市
青岛	12 个	大连、锦州、沈阳、石家庄、保定、杭州、武汉、南昌、西安、徐州、济南、青岛
北京	14 个	北京、承德、唐山、天津、长春、哈尔滨、太原、包头、呼和浩特、张家口、沧州、西宁、银川、合肥
上海	10 个	大庆、上海、长沙、福州、厦门、宝鸡、乌鲁木齐、南京、郑州、常州
成都	8 个	广州、成都、贵阳、昆明、重庆、桂林、南宁、兰州

注：行业内通常 1 个 RDC 覆盖 10-15 个周边地级城市，国内由于幅员辽阔，可以降至 6-8 个

教学案例使用说明

案例名称	A 集团配送中心选址		
适用课程	《运筹学》《物流系统仿真》 等课程	适用对象	物流工程专业硕士研究生
<p>教学目标：（教学案例涉及的理论体系、应用模式、技术路径，预期的掌握程度与教学效果）</p> <p>作为展示性教学案例，该案例可用于讲解“数学规划”、“风险分摊”、“区域分销中心”等概念，在物流设施选址、0-1 规划、配送网络优化等课程模块中使用。</p> <p>作为启发性教学案例，在布置该案例的小组讨论任务时，可要求学生以该案例为基础，预习 0-1 规划方法和 Lingo 软件求解方法。也可以要求学生查询模型所需的实际数据，用 Lingo 重新对模型进行求解，对比求解结果与该案例结果的差别。</p>			
<p>使用说明：（结合案例发展阶段、相关场景，依次简要列举相关思考题、讨论题；给出教学方式与时间安排的建议）</p> <p>作为启发性教学案例，教师可根据教学目标从以下习题中选择适当的习题进行讨论：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 建立 RDC 仓库通常能获得哪些好处？ 2. 供应链网络优化通常包括哪些步骤？ 3. 试以本案例的优化结果为基础，论述 RDC 仓库如何降低物流成本？ 4. 如果每个市场仓库的需求可以由多个区域仓库供货，是否会获得更低的物流成本？ <p>这些习题可作为学生自学习题帮助学生巩固相应的物流网络优化理论，也可作为试题考察学生对物流网络优化相关数学方法和相关理论的掌握程度。</p> <p>另外，在使用该案例过程中，除使用案例所提的问题外，可由教师重新给出案例所建数学模型的模拟数据，要求学生进行模型的求解，并对求解结果进行分析。</p>			
<p>编者分析：（分析思路、编者援引相关理论原理对思考题和讨论题的分析、本案例的关键要</p>			

点)

案例习题分析思路及本案例关键点如下：

1. 建立 RDC 仓库通常能获得哪些好处？

提示：建立 RDC 仓库能够缩短提前期，利用风险分摊降低库存成本，将部分零担运输转化为整车运输，从而节省运输成本。

2. 供应链网络优化通常包括哪些步骤？

提示：供应链网络优化通常包括问题分析与定位、问题建模、数据收集、优化求解与优化方案分析几个步骤。

3. 试以本案例的优化结果为基础，论述 RDC 仓库如何降低物流成本？

提示：本案例通过建立 RDC 仓库，并建立相应的决策模型优化 A 集团的物流配送网络。当配送终端节点覆盖范围很大时，有 RDC 的配送网络通常比没有 RDC 的配送网络的总运输路线短。有 RDC 的配送网络能够利用风险分摊原理减低配送网络上的安全库存量，因此能够节省总库存成本。

4. 如果每个市场仓库的需求可以由多个区域仓库供货，是否会获得更低的物流成本？

提示：教师可以给出相应的模拟数据，要求学生更改案例数学模型进行求解，从而比较物流成本是否会降低。

其他相关说明与附件：（案例内未给出的背景补充资料、可提供的多媒体资料说明、需要使用的软硬件设备与获取方式、使用方法的说明等）

无