

考虑同业拆借需求的现金押运入库路线优化模型

谢天帅,李 园

(重庆邮电大学 经济管理学院,重庆 400065)

[摘 要]同业拆借需要商业银行将营业日终了的现金及时存入中央银行,但目前的现金押运路线规划模型均未考虑同业拆借需求。基于同业拆借需求,建立了以运钞净收益最大化为目标的现金押运入库路线规划新模型,通过数值算例对比了新模型与传统模型路线规划的结果,验证了新模型的有效性;此外,还发现新模型规划的押运路线具备随着银行网点日常经营结果的变化而变化的特性,这在一定程度上能提高现金押运入库过程的安全性。

[关键词]同业拆借;现金押运;入库路线;路线规划

[中图分类号]F253.4

[文献标识码]A

[文章编号]1005-152X(2021)03-0085-06

Model for Cash Escort Inbound Route Optimization with Inter-bank Lending Requirement Considered

XIE Tianshuai, LI Yuan

(School of Economics & Management, Chongqing University of Posts & Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: Inter-bank lending requires commercial banks to deposit cash at the end of a business day into the central bank in a timely manner, but the current cash escort route planning model does not consider the requirement for inter-bank lending. In light of this, a new cash escort inbound route planning model with the objective of maximizing the net income of cash transport was established. A numerical example was used to compare the newly proposed model and traditional models to verify the effectiveness of the new model. In addition, it was also found that the escort route planned by the model proposed in this paper would change with the daily operating results of the branch banks, which could improve the security of the cash escort and inbound process to a certain extent.

Keywords: inter-bank lending; cash escort; inbound route; route planning

0 引言

尽管电子支付方兴未艾,但随着我国经济的持续发展和在世界经济中地位的不断攀升,流通中的现金不断增长。据中国人民银行(以下称“央行”)公布的数据计算,2005年(我国电子支付元年)流通中的现金月均约22 032亿元,到2020年(按前5个月计算)这一数据已经持续增长到85 130亿元。根据央行的存款准备金政策与制度,商业银行等金融机构在每个营业日终了,均须按统一法人向央行存入存款准备金,存款准备金需达到央行规定的法定存款准备金。若金融机构的存款准备金没有达到央行的

规定,则需向其他金融机构调借资金弥补头寸缺口,产生的利息称为拆进利息,相反,存款准备金超过央行规定的部分,称为超额存款准备金,可拆借给其他金融机构,产生的利息称为拆出利息,这两种利息统称为拆借利息。拆借利息通常以日计,等于日拆借资金量与日拆借利率的乘积。每个营业日终了,存入央行的准备金越多,需要拆进的资金量就越少或用于拆出的资金量就越多,产生的拆进利息成本越低或拆出利息收益越多,金融机构的赢利能力就越强。

无论是为了减少拆进还是增加拆出资金量,都要求商业银行等金融机构在营业日终了时将网点现

[收稿日期]2020-12-05

[作者简介]谢天帅(1972-),男,四川郫县人,博士,副教授,研究方向:物流与供应链管理;李园(1995-),女,湖北罗田人,硕士研究生,研究方向:物流与供应链管理。

金及现金等价物在央行扎账之前运进央行金库并存入存款准备金账户。因此,现金押运入库是一个与时间有关的车辆路线问题。但在实践和研究中,现金押运问题几乎都没有考虑到商业银行等金融机构的同业拆借需求及其与现金入库时间的关系,主要考虑的是现金运输成本、现金风险、客户的券别需求和服务时间窗等因素。比如,Yan,等将运钞安全与运钞成本结合起来考虑运钞车辆的路线安排和调度问题^[1],并进一步考虑了随机因素干扰下的运钞车辆路线安排和调度问题^[2];Talarico,等也考虑了现金押运在途风险,用运输距离和现金数量来量化在途风险,建立增加安全和减少成本的双目标模型^[3],或者在路径总风险不超过某一阈值条件下开发元启发式求解算法^[4-5];Radojicic,等同样以运输距离和现金数量来量化在途风险,考虑了风险阈值的模糊性,开发模糊求解算法^[6-7],以找到更安全的路线。除考虑现金在途风险外,徐国勋,等还考虑了银行网点库存现金风险,以最小化在途现金风险成本、库存现金风险成本和运输成本为目标规划运钞路线^[8],或考虑新币配送、旧币回收等多类型现金押运路线^[9],或考虑客户券别需求,以运输成本最小^[10]或运输成本和惩罚成本之和最小为目标规划运钞路线^[11]。李明琨,等则从押运成本和工作量均衡角度来研究运钞车的调度问题^[12]。Boonsam,等考虑了现金押运的服务时间窗问题,以总行驶时间最小化来规划最优路线^[13],但其研究的是将现金从金库运输到营业网点和自动柜员机而不是将现金从网点运送回金库的问题,考虑的是银行网点的服务时间窗口而不是中央银行的服务时间窗口。即使在 Geismar,等^[14]对现金供应链运作管理的综述论文中,也未注意到商业银行等金融机构的同业拆借需求对现金押运入库路线规划的影响问题。

车辆路线问题中对时间因素的考虑,一是设施接受服务的时间约束,即服务时间窗口或服务截止时间;二是影响运输结果的某些因素具有时变特征,如车辆行驶速度可能随上下班高峰期的变化而变化等。在现金押运路线规划中,现金从金库运向营业

网点时,营业网点接受服务的时间窗口对其业务开展具有重要影响,这时优先考虑营业网点服务时间窗是恰当的;现金从营业网点运回金库时,央行金库的扎账时间对拆借业务有重要影响,若考虑拆借需求,则央行金库的扎账时间应该优先考虑。与一般车辆路线中的时间约束不同的是,央行金库的扎账时间对可用于拆出或需要拆入的资金量是一个硬约束,但对现金的物理入库却不是,即扎账时间后,现金仍然需要运入金库以安全存放。由于拆借资金量受央行扎账时间的影响,运钞车的行驶速度也应被考虑进来,因为车辆行驶速度越快,越能在央行扎账时间之前将更多的网点现金运回金库入账。

因此,本文拟将商业银行等金融机构的同业拆借需求纳入运钞入库路线规划中,以拆借利息与押运成本之差构成的运钞净收益最大化为目标,建立新的现金押运入库路线规划模型,提出一个精确与启发式相结合的求解算法,借助数值算例对比分析考虑和不考虑同业拆借两种情况下的现金押运入库路线规划的影响机制,探讨其对押运公司和商业银行等金融机构的决策与合作的意义。

1 模型构建

1.1 问题描述

某押运公司为某商业银行营业网点提供现金押运服务。营业日终了时,押运公司需要将各营业网点的现金运入央行金库。现有一辆运钞车固定服务 5 个营业网点,每日按固定时间行走固定路线,并未考虑商业银行的同业拆借需求,如图 1(a)所示。

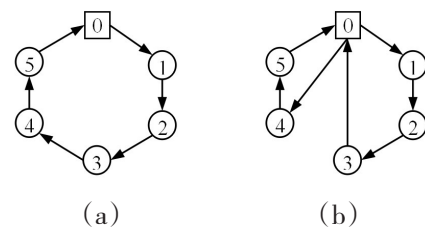


图 1 现金押运入库路线规划示意图

图 1 中点 0 代表央行金库,点 1、2、3、4、5 分别代表商业银行的一个营业网点。不考虑商业银行的同

业拆借需求时,押运公司通常会以成本最小化为目标选择最优押运路线,一次性将所服务营业网点的现金运回金库,最优路线为0-1-2-3-4-5-0(如图1(a)所示)。但现金运回金库时,常会超过央行金库的扎账时间,导致运回的现金能入库而不能及时存入央行账户计入存款准备金,产生不了同业拆借利息。若考虑商业银行的同业拆借需求,押运公司需要在央行扎账时间之前将商业银行营业网点的现金尽可能多地运回金库入账,以让商业银行可用于拆出的资金尽可能多、需要拆入的资金尽可能少,比如先将网点1、2、3的现金运回金库入账,再将网点4、5的现金运回金库入账,即新的押运路线为0-1-2-3-0-4-5-0(如图1(b)所示)。

在现金押运业务外包的情况下,现金及时存入央行账户所产生的拆借利息为商业银行所得,所增加的运输成本则由押运公司承担,这显然不是一个责任、权利对等的结构。因此,商业银行与押运公司之间应该安排适当的合约条款协调双方的责任和利益,比如共享运钞净收益等,以促使押运公司既按照商业银行参与同业拆借的需要安排现金押运入库路线,又兼顾现金押运入库运输成本最小化的要求,即以适当的合约安排实现以拆借利息与运输成本之差构成的运钞净收益最大化为目标的现金押运入库路线规划。合约安排属于另外的研究课题,本文以现存某押运公司的一辆运钞车固定服务5个营业网点的实况为参照,说明同业拆借对现有押运路线的影响机制,以及考虑同业拆借需求的押运路线规划能带来的好处,从整个系统角度进行的多车辆押运入库路线规划问题则另行研究。

1.2 符号定义

可将本问题定义在一个完备图 $G(V,A)$ 上, V 表示商业银行营业网点与央行金库0点的集合; A 表示有向弧的集合, $A = \{(i,j): i,j \in V, i \neq j\}$ 。此外,还需定义以下符号。

(1) 集合与参数

N : 一辆运钞车所服务的商业银行网点的集合,

一个正自然数代表一个网点;

v_{ij} : 点 i 到 j 的平均行车速度;

d_{ij} : 点 i 到 j 的距离;

m_i : 营业网点 i 的现金余额, $m_0 = 0$;

c : 可变运输成本,以每公里燃油费计;

f : 固定运输成本,以服务所有网点的押运人员工资、车辆维保费和折旧费等计;

k : 运钞车从金库出发并返回次数的序数;

K : 运钞车前 k 次从金库出发并返回次数的序数组成的集合, $K = \{1, 2, \dots, k\}$;

t : 运钞车前 k 次离返金库所用的总时间;

t_0 : 从运钞车首次离开金库执行任务时开始到央行存款准备金账户扎账时终止的时间;

r : 同业拆借市场利率,以日计。

(2) 决策变量

n : 运钞车完成运钞入库任务需要返回金库的次数, $n \in \mathbb{N}, n \geq k$;

$$x_{ij}^k = \begin{cases} 1, & \text{运钞车第 } k \text{ 次离返金库从 } i \text{ 驶向 } j; \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$$

$$I_k = \begin{cases} 1, & t \leq t_0, \text{ 前 } k \text{ 次入库资金是否全部计息,} \\ 0, & t > t_0 \end{cases}$$

以决定哪些离返金库运钞路线应优先安排。

(3) 辅助变量

辅助变量用于构造子回路消除约束,本文采用文献[11,15-16]中的构造,增加以下两个辅助变量。

u_i^k : 运钞车第 k 次离返金库访问 i 点时的取值,本文按访问顺序,连续取非负整数;

p : 运钞车一次离返金库所访问的最大网点数量, $np \geq |N|$,本文中取 $p = |N|$ 。

1.3 数学模型

假定一辆运钞车在服务 $|N|$ 个营业网点的过程中始终满足容量约束;押运公司进行路线规划时以运钞净收益最大化为目标。此时数学模型如下:

$$\max r \cdot I_k \cdot \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A} m_i x_{ij}^k - \left(f + \sum_{k=1}^n \sum_{(i,j) \in A} c d_{ij} x_{ij}^k \right) \quad (1)$$

s.t.

$$\sum_{k=1}^n \sum_{j:(i,j) \in A} x_{ij}^k = 1, \forall i \in N \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^n \sum_{j:(i,j) \in A} x_{ij}^k - \sum_{k=1}^n \sum_{j:(j,i) \in A} x_{ji}^k = 0, \forall i \in N \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^n \sum_{j:(0,i) \in A} x_{0i}^k = \sum_{k=1}^n \sum_{i:(i,0) \in A} x_{i0}^k = n, \forall n \in N \quad (4)$$

$$I_k = \begin{cases} 1, & \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A} \frac{d_{ij} x_{ij}^k}{v_{ij}} \leq t_0 \\ 0, & \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A} \frac{d_{ij} x_{ij}^k}{v_{ij}} > t_0 \end{cases} \quad (5)$$

$$u_i^k - u_j^k + p x_{ij}^k \leq p - 1, \forall (i,j) \in A, k = 1, \dots, n \quad (6)$$

$$x_{ij}^k \in \{0, 1\}, \forall (i,j) \in A \quad (7)$$

模型中,目标函数式(1)是最大化运钞入库的净收益,其中前半部分表示在央行金库扎账时间之前运回并存入存款准备金账户的现金所产生的拆借利息,后半部分表示将所有服务网点的现金全部运回金库保存时所产生的总运输成本(可变运输成本与固定运输成本之和)。约束式(2)表示每个营业网点只能被运钞车服务一次。约束式(3)表示运钞车服务完一个营业网点后必须离开。约束式(4)表示运钞车完成所有营业网点的运钞入库任务时需要返回金库的次数,极端的情况有两种:一种是 $n=1$,这时如果运钞车离返金库所耗费的时间超过了央行金库扎账时间的要求,则模型退化为传统的运输成本最小化模型,即不考虑同业拆借需求的模型;另一种是 $n=|N|$,这时运钞车服务几个营业网点就要返回金库几次,这种情况理论上存在,实际上几乎不可能。约束式(5)为决策条件的具体化,表达出了运钞车前 k 次离返金库所耗费的总时间的计算方式;约束式(6)为子回路消除约束,用以排除不构成解的押运路线^[11,15-16];约束式(7)为0-1变量约束。

2 算例分析

本节通过算例说明上述模型的正确性,同时说明同业拆借对现金押运入库路线优化的影响及其对银行经营的管理意义。

2.1 算例数据

参考一个实例,某押运公司为商业银行提供现

金押运入库服务时,其中一辆运钞车按固定时间固定路线固定服务该银行众多网点中的5个,应用上述模型对这辆车运钞入库路线进行优化。

设金库位置为0点,坐标为(0,0);5个营业网点的位置坐标见表1;假设营业网点间可直线相连,也不考虑运钞车在网点的停靠时间。

表1 银行网点位置数据

网点编号	网点坐标(km)
1	(1,20)
2	(11,2)
3	(3,7)
4	(9,9)
5	(17,3)

表2设置了与现金押运入库路线规划问题相关的其他参数,设置依据如后所述。

表2 其他相关参数设置

平均速度(km/h)	运输成本(元)		临界时间(h)	拆借利率(%)
	固定成本	可变成本		
40	303	0.94	1	2.43/365

运钞车多在市区行驶,表2中各路段平均速度 v_{ij} 均设为40km/h。固定成本由人员工资、车辆维保费和折旧费等构成,经测算,一辆车完成所有现金押运入库任务的固定成本 f 约为303元;变动成本主要是燃油费,测算后, c 约为0.94元/km。运钞车首次从金库出发到存款准备金账户扎账时止的时间 t_0 设为1h。同业拆借利率取自上海银行间同业隔夜拆借利率2.43%,该利率是以年计的,折算成以日计的利率 r 后,取值为 $(2.43/365)\% = 0.0067\%$ 。

2.2 求解算法

车辆行驶速度相同时,时间最短路线就是路程最短路线,而且只需返回金库1次。如果最短路线耗费的时间小于等于 t_0 ,则最短路线满足同业拆借需求;否则,最短路线不满足同业拆借需求,若要考虑同业拆借需求,只能将部分网点现金先行运回金库,再将其余网点现金运回金库,即返回金库的次数为2次,但运钞净收益并不一定优于返回次数为1次时的最短路线。因此,如果 t_0 小于最短路线耗费的时间,那么,不考虑同业拆借需求时的最优运钞入库路线,

只需要在返回金库次数为1次的路线中选择;考虑同业拆借需求时的最优运钞入库路线,则需要返回金库次数为1次或2次中的路线中选择。返回金库1次的运钞入库路线可视为单车辆的运输路线问题,返回金库2次的运钞入库路线可视为多车辆(2辆)的运输路线问题,算例规模不大,采用精确算法或启发式算法均可。

出于方便,采用遗传算法,通过 Visual Studio 软件平台进行数值实验,相关参数见表3。

表3 遗传算法参数设置

参数	设置值
种群规模	800
交叉概率	0.80
变异概率	0.05
最大迭代次数	100

2.3 模型结果

实践中,银行营业网点余额总量和结构均可能发生变化,因此需要从两个方面给出新模型的结果,以判断新模型的有效性:一是银行网点余额总量改变、结构不变时的结果;二是银行网点余额总量不变、结构改变时的结果。

2.3.1 网点余额总量改变、结构不变时的结果。每个网点余额相同,5个网点总额分别取10、30、50、200、400万元时,最优运钞入库路线及相关成本、收益数据见表4。

表4 余额总量不同时的最优路线及其成本收益

现金总量(万元)	最优路线	运输成本(元)	拆借利息(元)	运钞净收益
10	0-3-1-4-5-2-0	360.00	0	-360.00
30	0-3-1-4-5-2-0	360.00	0	-360.00
50	0-4-5-2-0-1-3-0	377.97	19.97	-358.00
200	0-4-5-2-0-1-3-0	377.97	79.90	-298.07
400	0-4-5-2-0-1-3-0	377.97	159.79	-218.18

注:因未涉及方向,路线0-3-1-4-5-2-0与0-2-5-4-1-3-0的运钞效益相同,路线0-4-5-2-0-1-3-0与0-2-5-4-0-3-1-0的运钞效益相同,但路线0-4-5-2-0-1-3-0与0-1-3-0-4-5-2-0的运钞效益不同。为便于理解和比较,将相同运钞效益路线写成同一种顺序,下同。

2.3.2 网点余额总量不变、结构改变时的结果。令网点余额总量为40万元,4种余额结构见表5。

表5 银行网点现金余额结构数据

网点编号	余额结构①	余额结构②	余额结构③	余额结构④
1	31	21	11	1
2	1	1	1	1
3	6	16	26	36
4	1	1	1	1
5	1	1	1	1

4种余额结构对应的最优运钞入库路线及其相关成本、收益数据见表6。

表6 余额结构不同时的最优路线及其成本收益

余额结构	最优路线	运输成本(元)	拆借利息(元)	运钞净收益
①	0-3-1-4-5-2-0	360.00	0	-360.00
②	0-3-1-4-5-2-0	360.00	0	-360.00
③	0-3-0-2-5-4-1-0	373.97	17.31	-356.66
④	0-3-0-2-5-4-1-0	373.97	23.97	-350.00

3 比较分析

为了说明新模型的有效性,需要将其结果与传统模型的结果加以比较。

传统模型下的结果见表7。

表7 不考虑同业拆借需求时最优路线及成本收益

现金总量(万元)	最优路线	运输成本(元)	拆借利息(元)	运钞净收益
10-400	0-3-1-4-5-2-0	360.00	0	-360.00

表7表明,由于传统模型没有考虑同业拆借需求,银行营业网点现金余额总量和结构对现金押运入库路线没有影响,每日运输路线均固定。

3.1 余额总量改变时新模型与传统模型比较

比较表4与表7中的数据可以发现,不考虑同业拆借需求时,无论营业网点现金总量是多少,现金押运入库路线都是0-3-1-4-5-2-0,一次性将各网点现金按这一固定路线运回金库;考虑同业拆借需求时,网点现金总量为10、30万元的最优运钞入库路线与不考虑同业拆借时的相同,50万元以上的最优运钞入库路线就变为先运网点4、5、2的现金回金库,再运网点1、3的现金回金库。

从成本、收益变化数据可以看出,网点现金总量为 50 万元以上时,新路线的运输成本增加了 17.97 元(377.97-360.00),但因网点 4、5、2 的现金余额及时入账产生了 19.97 元以上的拆借利息,使运钞净收益增加了 2 元(19.97-17.97)以上,及时入账的金额越大,产生的拆借利息收入越多。在拆借利息收入不足以弥补运输成本的增加时,新模型下的押运路线与传统模型下的相同。因此,新模型是比传统模型适用范围更广、更为有效的现金押运入库路线规划模型。

将网点现金余额连续化,可知运钞入库路线改变前后网点余额总量的临界值为 45 万元。现实中,5 个网点的余额总量通常远大于 45 万元,因此在运钞入库路线规划中考虑同业拆借需求,对商业银行和运钞公司的提质增效都具有重要意义。

3.2 余额结构改变时新模型与传统模型比较

比较表 6 与表 7 中的数据可以发现,余额结构①和②的最优路线相同,也与不考虑拆借需求的传统模型规划的路线相同,都是一次性将 5 个网点的现金余额运回金库;余额结构③和④的最优路线相同,都是先将网点 3 的现金运回金库,再将网点 2、5、4、1 的现金运回金库,且都与传统模型确定的押运路线不同。

从成本、收益变化数据可以看出,如果余额结构变化较大,使得拆借利息的增加(或减少)超过运输成本的增加(或减少)时,现金押运入库路线都会发生改变。比如网点余额结构从①变到④时,新路线使拆借利息增加了 23.97 元,运输成本也增加了 13.97 元(373.97-360.00),但运钞净收益增加了 10 元(360.00-350.00),新路线比传统路线效益更高。反之,如果网点余额结构从④变到①,拆借利息的减少低于运输成本的减少,新模型规划出的路线发生改变,与传统模型规划出的相同。因此,与传统模型相比,新模型抓住了网点余额结构对路线规划的影响,比传统模型更为有效。

结合表 1 网点坐标数据可知,网点 1 离金库最远,网点 3 离金库最近,余额结构从①到④的变化过程实际上就是越靠近金库的网点余额越大而越远离

金库的网点余额越小的变化过程。尽管余额总量并未达到上例中的临界值 45 万元,但押运路线仍然发生了改变,这说明,即使网点余额总量较小,加强远离金库网点的现金出入管理(如大额存取预约等)仍然可以给商业银行带来额外的增益。

另外,考虑同业拆借需求后,押运车辆每日运钞入库路线将随着银行网点营业终了时现金余额总量和结构的变化而有一定程度的变化,改变了传统模型规划出的路线的固定性,能在一定程度上增加现金押运路线的不确定性,从而在一定程度上提升现金押运入库过程的安全性。

4 结语

本文建立了考虑商业银行等金融机构同业拆借需求的、以运钞净收益最大化为目标函数的现金押运入库路线规划新模型,通过算例对比了新模型与不考虑同业拆借需求的传统模型路线规划结果,验证了新模型的有效性,还发现了新模型规划出的押运路线会随着银行网点日常经营结果的变化而变化的特性,能在一定程度上提高现金押运入库过程的安全性。此外,商业银行的营业网点通常远不止 5 个,故新模型对商业银行提高经营水平与运钞公司提高服务水平等都能发挥重要的作用。

[参考文献]

- [1] YAN S,WANG S S,WU M-W.A model with a solution algorithm for the cash transportation vehicle routing and scheduling problem[J].Computers & Industrial Engineering, 2012,63(2):464-473.
- [2] YAN S,WANG S-S,CHANG Y-H.Cash transportation vehicle routing and scheduling under stochastic travel times[J].Engineering Optimization,2014,46(3):289-307.
- [3] TALARICO L,SORENSEN K,SPRINGAEL J.A biobjective decision model to increase security and reduce travel costs in the cash-in-transit sector[J].International Transactions in Operational Research,2017,24(1-2):59-76.
- [4] TALARICO L,SORENSEN K,SPRINGAEL J.Metaheuristics for the risk-constrained cash-in-transit vehicle routing problem[J].European Journal of Operational Research, 2015,244(2):457-470.

(下转第 108 页)