

参赛队员姓名： 李天骥

中学： 中国人民大学附属中学

省份： 北京

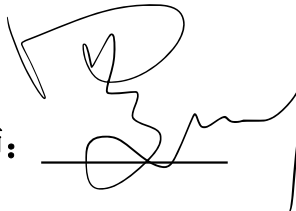
国家/地区： 中国

指导教师姓名： 罗昕

论文题目： 紧急事件医疗物资多层次多周期运输供应问题

本参赛团队声明所提交的论文是在指导老师指导下进行的研究工作和取得的研究成果。尽本团队所知，除了文中特别加以标注和致谢中所罗列的内容以外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果。若有不实之处，本人愿意承担一切相关责任。

参赛队员：李天骥

指导老师：

2020年 9月 14日

紧急事件医疗物资多层次多周期运输供应问题

李天骥

中国人民大学附属中学

摘要：传统的运输问题的目标是使运输总费用尽量少，而本文的主要目标是先满足医疗物资的需求，再考虑运输费用的问题。这个模型非常重要的应用就是当紧急事件发生时，如新冠疫情，如何有效的将医疗物资送往各个医疗单位，从而尽可能的保障人们的安全，同时在医疗物资最大限度送达的条件下尽可能的节约费用。本文我将建立一个紧急事件发生下的多层次多周期运输模型，给出一个相应有效的算法，并通过计算机模拟实例证明模型与算法的有效性。

关键词：医疗物资供应，运输模型，多层次多周期运输

目录

| | |
|--------------|----|
| 1 引言..... | 1 |
| 2 模型建立..... | 2 |
| 3 算法设计..... | 4 |
| 4 计算机仿真..... | 4 |
| 5 结语..... | 14 |
| 参考文献..... | 15 |

1 引言

医疗物资，是医院所需要的治疗物资，它有很多种类，并且都在挽救病人生命保障医生安全方面起到了非常重要的作用，因此医疗物资的充足供应是非常重要的。可今年新冠疫情爆发初期，多种医疗物资如口罩和医疗防护服一度出现了短缺的情况，那么在不同的情况下能快速有效的将生产的医疗物资运输至前线，对于如疫情这样的紧急事件是至关重要的，对此我们需要建立相应的车辆运输模型来帮助解决问题。

人们很早就对运输相关的问题进行了探索。Dantzig 和 Ramser 在 1959 年便提出了问题 [1]，意在解决卡车运输石油的最小路径问题，之后 Clarke 和 Wright 于 1964 年将这类问题总结变为了设计一个运输路径，让车辆将各个生产厂家的物资以最少的费用运输到需求者手中的线性规划问题，也就是人们所熟知的运输中车辆路径优化问题（VRP）[2]。

随着时间的发展，最初的车辆路径优化模型已经不能满足人们刻画复杂现实世界的需求，于是更多包含更多限制条件也更符合实际情况的车辆运输模型被人们提出。车辆路径优化问

题的主要拓展方向有带有车辆容量限制的运输问题，带有时间窗口的运输问题，带有随机变量的运输问题，多生产厂家的运输问题，多时间周期的运输问题等，这些问题均在 P Toth, D Vigo 于 2014 年的文献中有详细的介绍[3]。而 Braekers 等人也对 2015 年之前的各类分支研究进行了分类于汇总[4]。

而近些年来，随着计算机科学的进步，对于传统车辆运输路径优化问题的探究又有了进展。各种算法的诞生使得人们可以更好的解决那些单纯用线性规划难以解决的实际情况，如 Echeverri 等人提出对于多周期运输问题的启发式算法[5]，Azadeh 等人提出了对于多生产厂家运输问题的遗传算法[6]，Oliveira 等人提出了多生产厂家运输的协同演化算法[7]，Nazari 等人运用强化学习来解决车辆路径优化问题[8]。同时，人们也将多种限制条件结合，使得模型与实际情况更加相似，如 Mancini 等人将多生产厂家与多时间周期的条件相结合[9]。此外，Coelho 等人还对于模型在现实中的应用进行了研究，验证了模型的可靠性[10]。Zhu 等人研究了物资需求不确定情形下的路径优化问题[11]。但这并不代表着人们对于车辆运输的问题就已经完善，对于多层次运输这一类在现实生活中十分常见的情况的研究便不十分充分。

而在如新冠疫情这类紧急突发事件中，真实情况可能比这些现有的模型要复杂。首先，整个过程中一定是包含多个供应厂家和有需求的定点医院的；其次，在全国范围内的运输通常并不是直接由用供应商发送到对应的需求地，而是多层次运输，在物资运送过程中需要经由一些中转站；此外，整个事件的跨度相对来说是较长的，正常的单周期运输模型难以准确的为其提供参考。目前现有的研究中还并没有将多生产厂家多时间周期与多层次供应同时联系起来进行研究。特别是整个运输模型的准则也是先尽可能的满足防护服的需求，其次再尽可能的节省运输的费用。在此背景下，我针对性地建立了一个多阶段多时间周期的运输模型来解决问题。

2 模型建立

根据实际情况，我的模型是由多个生产厂家经由多个中转站运送到多个有需求的医院。首先要尽量使得医院的需求量得到满足，再让运输的总费用尽可能小。

下面是我们的一些决策变量和参数：

令 A 为所有厂家的集合 $|A|=M$, B 为所有中转站的集合 $|B|=N$, C 为所有医院的集合 $|C|=L$ 。假设所有货物必须经过中转站。任意 $i \in A$, $j \in B$, 可构成弧 (i, j) ; 同理任意 $j \in B$, k 属于 C 可构成弧 (j, k) 。从而形成整个运输网络。因为这是一个多周期问题, 所以会有时间量 t 。

以下是变量和约束条件

t : 时段 $t=1, 2, \dots, n$

p_i^t : 在 t 时段厂家 i 的生产量

d_k^t : 在 t 时段医院 k 的需求量

T_{ij} : 在厂家 i 与中转站 j 之间的运输时间

T_{jk} : 在中转站 j 和医院 k 之间的运输时间

X_{ij}^t : 在 t 时段从厂家 i 运出到中转站 j 的运输量

Y_{jk}^t : 在 t 时段从中转站 j 运出到医院 k 的运输量

H_k^t : 在 t 时段医院 k 的未满足需求量

Q_k^t : 在 t 时段医院 k 防护服剩余量

S : 一个充分小的正数

此外用 $f(t)$, $g(t)$ 来分别来表示企业的生产量变化函数和医院需求量函数。

根据首先满足物资供应需求, 其次再使得运输费用尽量小的现实需求, 确定 VRP 模型如下: (这里认为运输的费用与运输时间和货物数量成正比)

$$\text{Min} z = \sum_{k=1}^L \sum_{t=1}^n H_k^t + M \left(\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \sum_{t=1}^n X_{ij}^t T_{ij} + \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^L \sum_{t=1}^n Y_{jk}^t T_{jk} \right)$$

S. t.

$$\sum_{i=1}^M X_{ij}^t = \sum_{k=1}^L Y_{jk}^t \quad j=1, 2, \dots, N \quad t=1, 2, \dots, n \quad (1)$$

$$p_i^t \geq \sum_{j=1}^N X_{ij}^t \quad i=1, 2, \dots, M \quad t=1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^N Y_{jk}^t = d_k^t + Q_k^t - H_k^t \quad k=1, 2, \dots, L \quad t=1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$H_k^t = \text{Max} \{0, d_k^t - Q_k^t - \sum_{j=1}^N Y_{jk}^t\} \quad k=1,2,\dots,L \quad t=1,2,\dots,n \quad (4)$$

$$Q_k^t = \text{Max} \{0, \sum_{j=1}^N Y_{jk}^t + Q_k^{t-1} - d_k^t\} \quad k=1,2,\dots,L \quad t=1,2,\dots,n \quad (5)$$

限制条件（1）使得中转站无货物滞留；限制条件（2）（3）确保了运输量不会超过生产量并确定了运输量与需求量，缺少，剩余三者的关系；限制条件（4）（5）保证了剩余量和缺少量的关系，使它们能够正确表达各自的意义且不同时大于零。

3 算法设计

首先按时间顺序找出在这 n 天中供应量大于需求量的天 n_1, n_2, \dots, n_s ，对于其中最早的第 n_1 天，首先判断当天供应量与需求量之差，也就是理论最大剩余量与之后所有天的需求量之和做对比，若理论最大剩余量大于等于后面所有天的需求量之和，则按照之后所有天的需求量总和作为当天剩余量进行单周期的运输模型计算，后面所有天不再运输；若理论最大剩余值小于后面所有天的需求量之和，则以理论最大剩余量为当天剩余量将 $Q_k^n, k=0,1,\dots,L$ 算出来，将原本的下一天的每家医院的需求量分别与 n_1 天的剩余量相减得到新的需求量， $Y_k^{n_1+1} = Y_k^{n_1+1} - Q_k^n, k=1,2,\dots,L$ ，判断 n_1+1 天总供应量之和与总需求量的大小，若总需求量更大，则求出这天的运输情况并停止；若供应量更大，则重复对于第 n_1 天进行的操作，直至到一天需求量大于等于供应量，或理论最大剩余量大于后面所有天的需求量之和，求出这天的运输情况并停止。之后再找到下一个供应量大于需求量且还未确定运输方式第 n_a 天，重复对于 n_1 天的操作，直至所有供应量大于需求量的天都以此被操作。最后再将所有还未被处理过的天按照模型进行单周期求解。这时就得到了整个周期的运输情况。

4 计算机仿真

根据以上的模型和算法，我模拟一个医疗物资运输的实况，以 2020 年武汉新冠疫情为例，

现在武汉疫情爆发，武汉市内的十几个指定接待新冠病人的医院已经满员，医疗防护服的储备已经用完，需要有资格生产医疗防护服的企业迅速恢复生产和供应。此外，我考虑此次运输方式为火车加货车，认为货物会先集中到武汉的三个主要火车站，武昌站，武汉站，汉口站再统一运到各个医院。

接收新冠病人的方舱医院标号与名称见表 1，生产防护服的企业标号与名称见表 2：

表1 方舱医院的标号与名称

| 标号 | 医院名称 |
|----|-----------|
| 1 | 洪山体育馆 |
| 2 | 武汉客厅 |
| 3 | 武汉国际会展中心 |
| 4 | 武汉体育馆 |
| 5 | 大花山户外运动中心 |
| 6 | 武钢体育中心 |
| 7 | 武汉体育中心 |
| 8 | 武汉全民健身中心 |
| 9 | 石牌岭高级职业中学 |
| 10 | 光谷科技会展中心 |
| 11 | 武汉国际博览中心 |
| 12 | 黄陂一中体育馆 |
| 13 | 雷神山 |
| 14 | 火神山 |

表2 公司的标号与名称

| 标号 | 公司名称 |
|----|--------------------|
| 1 | 安徽富美医疗科技有限公司 |
| 2 | 安徽莫尼克医用材料有限公司 |
| 3 | 合肥高贝斯医疗卫生用品有限公司 |
| 4 | 合肥美迪普医疗卫生用品有限公司 |
| 5 | 福建省安康医疗器械有限公司 |
| 6 | 河南康尔健医疗科技有限公司 |
| 7 | 河南飘安集团有限公司 |
| 8 | 河南省华裕医疗器械有限公司 |
| 9 | 河南省健琪医疗器械有限公司 |
| 10 | 河南省蓝天医疗器械有限公司 |
| 11 | 河南省斯科赛斯科技发展有限公司 |
| 12 | 河南省中健医疗器械有限公司 |
| 13 | 新乡市大方医疗器械制造有限公司 |
| 14 | 新乡市宏达卫材有限公司 |
| 15 | 新乡市华西卫材有限公司 |
| 16 | 新乡市康贝尔医疗科技有限公司 |
| 17 | 亿信医疗器械股份有限公司 |
| 18 | 长东医疗器械集团有限公司 |
| 19 | 武汉市协卓卫生用品有限公司 |
| 20 | 仙桃市瑞锋卫生防护用品有限公司 |
| 21 | 苏州市奥健医卫用品有限公司 |
| 22 | 江西博美斯特医疗科技股份有限公司 |
| 23 | 呼和浩特市欣龙康医疗器械有限责任公司 |
| 24 | 瑞安森(天津)医疗器械有限公司 |
| 25 | 天津市远航工贸发展有限公司 |
| 26 | 振德医疗用品股份有限公司 |

接下来我先对接收新冠病人的医院的需求量进行估计：

每位医护人员需要每 4 小时更换一套防护服，对于此时的紧急情况我们假设方舱医院都是按照三级甲等医院的标准，每床至少配备 1.03 名卫生技术人员和 0.4 名护士，此时紧急情况要 24 小时不间断满足此标准。记医院 k 的床位数为 c_k ，那么此时每天所需的防护服量 d_k

就为 $d_k = c_k \times (1.03 + 0.4) \times 6$ ，但因为每天可突发情况能会发生的，所以我假定每天医院的需求量在基准值 d_k 上下波动，需求量函数 $g(t)$ 为随机函数，每天的需求量由电脑随机生成。

各个方舱医院公布的床位数量见表 3:

表3 各方舱医院的床位数

| 医院名称 | 床位数 |
|-----------|------|
| 洪山体育馆 | 800 |
| 武汉客厅 | 2000 |
| 武汉国际会展中心 | 1000 |
| 武汉体育馆 | 300 |
| 大花山户外运动中心 | 1000 |
| 武钢体育中心 | 300 |
| 武汉体育中心 | 1100 |
| 武汉全民健身中心 | 1000 |
| 石牌岭高级职业中学 | 800 |
| 光谷科技会展中心 | 1000 |
| 武汉国际博览中心 | 1000 |
| 黄陂一中体育馆 | 500 |
| 雷神山 | 1600 |
| 火神山 | 1000 |

由此可计算出医院每天对防护服的需求量见表 4:

表4 医院每天对防护报的需求量

| 医院 | 第1天 | 第2天 | 第3天 | 第4天 | 第5天 | 第6天 | 第7天 | 第8天 | 第9天 | 第10天 |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 6871 | 6875 | 6863 | 6870 | 6864 | 6855 | 6874 | 6862 | 6876 | 6880 |
| 2 | 17170 | 17147 | 17170 | 17174 | 17152 | 17139 | 17181 | 17146 | 17143 | 17177 |
| 3 | 8562 | 8575 | 8581 | 8577 | 8578 | 8574 | 8582 | 8595 | 8581 | 8589 |
| 4 | 2571 | 2573 | 2576 | 2573 | 2572 | 2574 | 2572 | 2574 | 2571 | 2577 |
| 5 | 8580 | 8577 | 8583 | 8587 | 8593 | 8570 | 8572 | 8575 | 8594 | 8595 |
| 6 | 2574 | 2575 | 2579 | 2577 | 2572 | 2574 | 2571 | 2573 | 2571 | 2576 |
| 7 | 9447 | 9427 | 9442 | 9441 | 9425 | 9449 | 9460 | 9449 | 9442 | 9447 |
| 8 | 8575 | 8584 | 8571 | 8581 | 8577 | 8585 | 8589 | 8590 | 8583 | 8590 |
| 9 | 6864 | 6867 | 6857 | 6862 | 6852 | 6859 | 6857 | 6857 | 6860 | 6869 |
| 10 | 8581 | 8575 | 8578 | 8580 | 8576 | 8585 | 8587 | 8588 | 8565 | 8566 |
| 11 | 8593 | 8564 | 8595 | 8577 | 8568 | 8586 | 8583 | 8573 | 8586 | 8587 |
| 12 | 4293 | 4290 | 4286 | 4301 | 4295 | 4294 | 4298 | 4291 | 4298 | 4289 |
| 13 | 13739 | 13714 | 13712 | 13743 | 13710 | 13745 | 13727 | 13734 | 13698 | 13730 |
| 14 | 8594 | 8576 | 8572 | 8587 | 8591 | 8593 | 8579 | 8584 | 8579 | 8594 |

接下来我们对这些企业的生产能力进行估计：

因为医疗防护服是通过生产线来生产的，而在规格相同的情况下每条生产线需要的工人数量是一定的，因此可以用人数来估计生产能力。根据相关公司的生产能力及员工数数据，我算出一名员工正常工作一天约可生产 100 套医用防护服，再根据公司公布的社保员工人数可知公司正常工作时的生产量。再根据公司恢复生产的时间，假定生产是线性恢复的，我得出了各个公司恰好完全恢复生产的产能以及公司生产量恢复函数 $f(t) = \frac{7}{27}a + \frac{5}{27}at$ 其中 a 为完全复工时的产能，开始复工的第一天 $t=1$ 。这里企业在恢复生产之后又继续进行了产能的增加直至产能与需求基本平衡。

根据产能恢复函数和恰好完全恢复生产时的产能我可以得出整个周期中这些公司的产能，见表 5：

表5 各公司生产防护报的生产能力

| 公司 | 第1天 | 第2天 | 第3天 | 第4天 | 第5天 | 第6天 | 第7天 | 第8天 | 第9天 | 第10天 |
|----|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 489 | 693 | 896 | 1100 | 1304 | 1507 | 1711 | 1915 | 2119 | 2119 |
| 2 | 889 | 1259 | 1630 | 2000 | 2370 | 2741 | 3111 | 3481 | 3852 | 3852 |
| 3 | 1822 | 2581 | 3341 | 4100 | 4859 | 5619 | 6378 | 7137 | 7896 | 7896 |
| 4 | 1156 | 1637 | 2119 | 2600 | 3081 | 3563 | 4044 | 4526 | 5007 | 5007 |
| 5 | 533 | 756 | 978 | 1200 | 1422 | 1644 | 1867 | 2089 | 2311 | 2311 |
| 6 | 489 | 693 | 896 | 1100 | 1304 | 1507 | 1711 | 1915 | 2119 | 2119 |
| 7 | 1333 | 1889 | 2444 | 3000 | 3556 | 4111 | 4667 | 5222 | 5778 | 5778 |
| 8 | 178 | 252 | 326 | 400 | 474 | 548 | 622 | 696 | 770 | 770 |
| 9 | 1378 | 1952 | 2526 | 3100 | 3674 | 4248 | 4822 | 5396 | 5970 | 5970 |
| 10 | 533 | 756 | 978 | 1200 | 1422 | 1644 | 1867 | 2089 | 2311 | 2311 |
| 11 | 444 | 630 | 815 | 1000 | 1185 | 1370 | 1556 | 1741 | 1926 | 1926 |
| 12 | 133 | 189 | 244 | 300 | 356 | 411 | 467 | 522 | 578 | 578 |
| 13 | 311 | 441 | 570 | 700 | 830 | 959 | 1089 | 1219 | 1348 | 1348 |
| 14 | 933 | 1322 | 1711 | 2100 | 2489 | 2878 | 3267 | 3656 | 4044 | 4044 |
| 15 | 1511 | 2141 | 2770 | 3400 | 4030 | 4659 | 5289 | 5919 | 6548 | 6548 |
| 16 | 311 | 441 | 570 | 700 | 830 | 959 | 1089 | 1219 | 1348 | 1348 |
| 17 | 2222 | 3148 | 4074 | 5000 | 5926 | 6852 | 7778 | 8704 | 9630 | 9630 |
| 18 | 444 | 630 | 815 | 1000 | 1185 | 1370 | 1556 | 1741 | 1926 | 1926 |
| 19 | 6756 | 9570 | 12385 | 15200 | 18015 | 20830 | 23644 | 26459 | 29274 | 29274 |
| 20 | 311 | 441 | 570 | 700 | 830 | 959 | 1089 | 1219 | 1348 | 1348 |
| 21 | 2667 | 3778 | 4889 | 6000 | 7111 | 8222 | 9333 | 10444 | 11556 | 11556 |
| 22 | 311 | 441 | 570 | 700 | 830 | 959 | 1089 | 1219 | 1348 | 1348 |
| 23 | 89 | 126 | 163 | 200 | 237 | 274 | 311 | 348 | 385 | 385 |
| 24 | 622 | 881 | 1141 | 1400 | 1659 | 1919 | 2178 | 2437 | 2696 | 2696 |
| 25 | 89 | 126 | 163 | 200 | 237 | 274 | 311 | 348 | 385 | 385 |
| 26 | 622 | 881 | 1141 | 1400 | 1659 | 1919 | 2178 | 2437 | 2696 | 2696 |

接下来我们需要得到运输时间，根据查得的各个厂家与医院到中转站的距离，假定因紧急事件需快速运输火车时速 160km/h 货车时速 40km/h，算出运输时间，表 6 为生产企业到中

转站的时间，表 7 为医院到中转站的时间：

表6 生产企业到中转站的时间（分钟）

| 企业名称 | 武昌站 | 武汉站 | 汉口站 |
|------|-----|-----|-----|
| 1 | 166 | 119 | 128 |
| 2 | 181 | 140 | 141 |
| 3 | 198 | 156 | 174 |
| 4 | 201 | 159 | 158 |
| 5 | 454 | 388 | 417 |
| 6 | 277 | 230 | 207 |
| 7 | 281 | 240 | 211 |
| 8 | 291 | 250 | 221 |
| 9 | 275 | 235 | 205 |
| 10 | 276 | 236 | 206 |
| 11 | 247 | 231 | 208 |
| 12 | 285 | 244 | 263 |
| 13 | 280 | 239 | 210 |
| 14 | 279 | 239 | 209 |
| 15 | 278 | 238 | 208 |
| 16 | 273 | 233 | 209 |
| 17 | 282 | 241 | 214 |
| 18 | 301 | 259 | 231 |
| 19 | 93 | 64 | 87 |
| 20 | 86 | 111 | 95 |
| 21 | 309 | 268 | 282 |
| 22 | 216 | 175 | 206 |
| 23 | 707 | 665 | 729 |
| 24 | 439 | 401 | 402 |
| 25 | 408 | 326 | 346 |
| 26 | 370 | 326 | 332 |

表7 医院到中转站的时间（分钟）

| 医院名称 | 武昌站 | 武汉站 | 汉口站 |
|------|-----|-----|-----|
| 1 | 12 | 21 | 31 |
| 2 | 40 | 29 | 22 |
| 3 | 26 | 30 | 21 |
| 4 | 19 | 29 | 16 |
| 5 | 41 | 43 | 61 |
| 6 | 30 | 15 | 28 |
| 7 | 25 | 39 | 26 |
| 8 | 36 | 22 | 13 |
| 9 | 15 | 23 | 32 |
| 10 | 29 | 27 | 50 |
| 11 | 18 | 37 | 28 |
| 12 | 42 | 51 | 27 |
| 13 | 22 | 38 | 41 |
| 14 | 41 | 55 | 43 |

在得到了所有需要的量之后，我们便可以通过电脑算出每天由生产企业发往中转站的防护服数量见表 8，以及每天由中转站发往各方舱医院的防护服数量见表 9：

表8 生产企业每天发往中转站的防护服数量

| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 |
|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|------|-----|------|-----|------|
| 第一天 | 武昌站 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 311 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 武汉站 | 489 | 0 | 1822 | 0 | 533 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 133 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6756 | 0 | 2667 | 311 | 89 | 0 | 89 | 622 |
| | 汉口站 | 0 | 889 | 0 | 1156 | 0 | 489 | 1333 | 178 | 1378 | 533 | 444 | 0 | 311 | 933 | 1511 | 311 | 2222 | 444 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 622 | 0 | 0 |
| 第二天 | 武昌站 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 441 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 武汉站 | 693 | 0 | 2581 | 0 | 756 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 189 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9570 | 0 | 3778 | 441 | 126 | 0 | 126 | 881 |
| | 汉口站 | 0 | 1259 | 0 | 1637 | 0 | 693 | 1889 | 252 | 1952 | 756 | 630 | 0 | 441 | 1322 | 2141 | 441 | 3148 | 630 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 881 | 0 | 0 |
| 第三天 | 武昌站 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 570 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 武汉站 | 896 | 0 | 3341 | 0 | 978 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 244 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12385 | 0 | 4889 | 570 | 163 | 0 | 163 | 1141 |
| | 汉口站 | 0 | 1630 | 0 | 2119 | 0 | 896 | 2444 | 326 | 2526 | 978 | 815 | 0 | 570 | 1711 | 2770 | 570 | 4074 | 815 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1141 | 0 | 0 |
| 第四天 | 武昌站 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 700 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 武汉站 | 1100 | 0 | 4100 | 0 | 1200 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 300 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15200 | 0 | 6000 | 700 | 200 | 0 | 200 | 0 |
| | 汉口站 | 0 | 2000 | 0 | 2600 | 0 | 1100 | 3000 | 400 | 3100 | 1200 | 1000 | 0 | 700 | 2100 | 3400 | 700 | 5000 | 1000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1400 | 0 | 1400 |
| 第五天 | 武昌站 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 830 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 武汉站 | 1304 | 0 | 4859 | 0 | 1422 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 356 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18015 | 0 | 7111 | 830 | 237 | 0 | 237 | 0 |
| | 汉口站 | 0 | 2370 | 0 | 3081 | 0 | 1304 | 3556 | 474 | 3674 | 1422 | 1185 | 0 | 830 | 2489 | 4030 | 830 | 5926 | 1185 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1659 | 0 | 1659 |
| 第六天 | 武昌站 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 959 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 武汉站 | 1507 | 0 | 5619 | 0 | 1644 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 411 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20830 | 0 | 8222 | 959 | 274 | 0 | 274 | 0 |
| | 汉口站 | 0 | 2741 | 0 | 3563 | 0 | 1507 | 4111 | 548 | 4248 | 1644 | 1370 | 0 | 959 | 2878 | 4659 | 959 | 6852 | 1370 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1919 | 0 | 1919 |
| 第七天 | 武昌站 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1089 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 武汉站 | 1711 | 0 | 6378 | 0 | 1867 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 467 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 23644 | 0 | 9333 | 1089 | 311 | 0 | 311 | 0 |
| | 汉口站 | 0 | 3111 | 0 | 4044 | 0 | 1711 | 4667 | 622 | 4822 | 1867 | 1556 | 0 | 1089 | 3267 | 5289 | 1089 | 7778 | 1556 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2178 | 0 | 2178 |
| 第八天 | 武昌站 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1219 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 武汉站 | 1915 | 0 | 7137 | 0 | 2089 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 522 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 26459 | 0 | 10444 | 1219 | 348 | 0 | 348 | 0 |
| | 汉口站 | 0 | 3481 | 0 | 4526 | 0 | 1915 | 5222 | 696 | 5396 | 2089 | 1741 | 0 | 1219 | 3656 | 5919 | 1219 | 8704 | 1741 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2437 | 0 | 2437 |
| 第九天 | 武昌站 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1348 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 武汉站 | 2119 | 0 | 7896 | 0 | 2311 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 578 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 29274 | 0 | 11556 | 1348 | 385 | 0 | 385 | 0 |
| | 汉口站 | 0 | 3852 | 0 | 5007 | 0 | 2119 | 5778 | 770 | 5970 | 2311 | 1926 | 0 | 1348 | 4044 | 6548 | 1348 | 9630 | 1926 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2696 | 0 | 2696 |
| 第十天 | 武昌站 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1348 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 武汉站 | 2119 | 0 | 7896 | 0 | 2311 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 578 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 29274 | 0 | 11556 | 1348 | 282 | 0 | 385 | 0 |
| | 汉口站 | 0 | 3852 | 0 | 5007 | 0 | 2119 | 5778 | 770 | 5970 | 2311 | 1926 | 0 | 1348 | 4044 | 6548 | 1348 | 9630 | 1926 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2696 | 0 | 2696 |

表9 从中转站每天发往医院的防护服数量

| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
|-----|-----|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|
| 第一天 | 武昌站 | 311 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 武汉站 | 6560 | 0 | 0 | 2571 | 0 | 2574 | 0 | 0 | 1806 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 汉口站 | 0 | 0 | 4179 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8575 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 第二天 | 武昌站 | 441 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 武汉站 | 6434 | 0 | 0 | 2573 | 0 | 2575 | 0 | 0 | 6867 | 692 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 汉口站 | 0 | 913 | 8575 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8584 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 第三天 | 武昌站 | 570 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 武汉站 | 6293 | 0 | 0 | 2576 | 0 | 2579 | 0 | 0 | 6857 | 6465 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 汉口站 | 0 | 6233 | 8581 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8571 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 第四天 | 武昌站 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 700 | 0 | 0 | 0 |
| | 武汉站 | 6870 | 1538 | 0 | 2573 | 0 | 2577 | 0 | 0 | 6862 | 8580 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 汉口站 | 0 | 12942 | 8577 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8581 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 第五天 | 武昌站 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 830 | 0 | 0 | 0 |
| | 武汉站 | 6864 | 6935 | 0 | 2572 | 0 | 2572 | 0 | 0 | 6852 | 8576 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 汉口站 | 0 | 10217 | 8578 | 0 | 0 | 0 | 8302 | 8577 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 第六天 | 武昌站 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 959 | 0 | 0 | 0 |
| | 武汉站 | 6855 | 12293 | 0 | 2574 | 0 | 2574 | 0 | 0 | 6859 | 8585 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 汉口站 | 0 | 4846 | 8574 | 0 | 0 | 0 | 9449 | 8585 | 0 | 0 | 5499 | 4294 | 0 | 0 |
| 第七天 | 武昌站 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1089 | 0 | 0 | 0 |
| | 武汉站 | 6874 | 8780 | 0 | 2572 | 0 | 2571 | 0 | 0 | 6857 | 8587 | 0 | 0 | 8870 | 0 |
| | 汉口站 | 0 | 8401 | 8582 | 0 | 0 | 0 | 9460 | 8589 | 0 | 0 | 7494 | 4298 | 0 | 0 |
| 第八天 | 武昌站 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1219 | 0 | 0 | 0 |
| | 武汉站 | 6862 | 3027 | 0 | 2574 | 6266 | 2573 | 0 | 0 | 6857 | 8588 | 0 | 0 | 13734 | 0 |
| | 汉口站 | 0 | 14119 | 8595 | 0 | 0 | 0 | 9449 | 8590 | 0 | 0 | 7354 | 4291 | 0 | 0 |
| 第九天 | 武昌站 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1348 | 0 | 0 | 0 |
| | 武汉站 | 6876 | 5895 | 0 | 2793 | 8594 | 2571 | 0 | 0 | 6860 | 8565 | 0 | 0 | 13698 | 0 |
| | 汉口站 | 0 | 11248 | 8581 | 0 | 0 | 0 | 9442 | 8583 | 0 | 0 | 7238 | 4298 | 0 | 8579 |
| 第十天 | 武昌站 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1348 | 0 | 0 | 0 |
| | 武汉站 | 6880 | 5978 | 0 | 2555 | 8595 | 2576 | 0 | 0 | 6869 | 8566 | 0 | 0 | 13730 | 0 |
| | 汉口站 | 0 | 11199 | 8589 | 0 | 0 | 0 | 9447 | 8590 | 0 | 0 | 7239 | 4311 | 0 | 8594 |

我们可以看到当供应量小于需求量的时候运输量全部等于供应量，而当供应量较多时运输量便等于需求量，结果很好的满足了模型先尽可能满足需求再使得花费尽可能小的目标。

根据数据得到的结果，我们可以知道当理论供应量大于需求量时，各个企业应该运输多少套防护服以避免不必要的浪费；同时我们可以发现，在生产量不变的情况下，有时将企业生产的防护服送往两个乃至多个中转站是更加节约物资的方式，为现实中多种不同情况的物资运输提供了建设性的意见；此外从我们可以推断出当需求量较少时，将病人集中在特定的几家医院是从经济上更优的方式，为面对疫情时如何安置病人也具有一定的参考价值。

通过计算机仿真可以看出我们建立的模型，以及相应的算法是实际有效的，只要给定模型中的各个参数，我们的模型就可以提供出一份多阶段多周期的运输方式，这个结果对于决策者有非常直观的参考价值。

5 结语

本文考虑了紧急事件中医疗物资的多层级多周期供应问题，建立了以满足需求量为主要目标，节约经济为次要目标的优化模型，并为模型设计出了一个快速有效的算法，最后通过计算机仿真所得到的计算结果验证了模型的有效性合理性，说明我们的模型的算法对实际决策有很大帮助。未来，将继续研究更加符合实际的模型，以及设计更加精确的算法。

参考文献

- [1] Dantzig G B, Ramser J H. The truck dispatching problem[J]. *Management science*, 1959, 6(1): 80-91
- [2] Clarke G, Wright J W. Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points[J]. *Operations research*, 1964, 12(4): 568-581.
- [3] Vehicle routing: problems, methods, and applications[M]. Society for Industrial and Applied Mathematics, 2014.
- [4] Braekers K, Ramaekers K, Van Nieuwenhuysse I. The vehicle routing problem: State of the art classification and review[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2016, 99: 300-313.
- [5] Echeverri L C, Froger A, Mendoza J E, et al. A matheuristic for the Multi-period Electric Vehicle Routing Problem[C]. 2019.
- [6] Azadeh A, Farrokhi-Asl H. The close–open mixed multi depot vehicle routing problem considering internal and external fleet of vehicles[J]. *Transportation Letters*, 2019, 11(2): 78-92.
- [7] de Oliveira F B, Enayatifar R, Sadaei H J, et al. A cooperative coevolutionary algorithm for the multi-depot vehicle routing problem[J]. *Expert Systems with Applications*, 2016, 43: 117-130.
- [8] Nazari M, Oroojlooy A, Snyder L, et al. Reinforcement learning for solving the vehicle routing problem[C]//*Advances in Neural Information Processing Systems*. 2018: 9839-9849.
- [9] Mancini S. A real-life multi depot multi period vehicle routing problem with a heterogeneous fleet: Formulation and adaptive large neighborhood search based matheuristic[J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2016, 70: 100-112.
- [10] Coelho L C, Renaud J, Laporte G. Road-based goods transportation: a survey of real-world logistics applications from 2000 to 2015[J]. *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 2016, 54(2): 79-96.
- [11] Zhu, Jianming, Liu S, Ghosh S. Model and Algorithm of Routes Planning for Emergency Relief Distribution in Disaster Management with Disaster Information Update [J]. *Journal of Combinatorial Optimization*, 2019, 38(1): 208-223.