

顺丰航空物流网络规划

李文锋 16331018

刘思远 16332113

孙驰寅 16332149

郑华栋 16332230

摘要

我们选择讨论第三届顺丰杯全国大学生物流设计大赛中的案例五：航空网络规划及其配套资源利用最大化，并且重点致力于解决其中航空航线安排的问题。基于案例中给到的 17 个机场的信息，我们以最小化运输成本为出发点建立了循环航线模型以及轴辐式网络模型两套方案，并利用 Gurobi 求解模型实际验证了轴辐式网络模型模型对成本的节约情况，经过对比分析并结合实际考虑找到了比原有航线情况更合理的航线安排，实现了对原有航线的优化。

关键词：物流 轴辐式网络 循环航线 线性规划

一、研究背景

互联网的发展带动了物流行业的货运量的高速增长，同时也提高了对快递时效性的要求。对于有高时效性要求的货物而言，航空运输是保障时效性的最好方法。早期国内的航空运输只是通过占用一部分客机的腹仓的方式进行运输，在需求增加之后，很多物流公司也开始采用全货机的方式进行专门的物流运输。

顺丰公司在 2009 年便建立了全货机航空公司，安排购置了 11 架专门用于运输物流的全货机，并在全国范围内选择了 17 个机场作为航空物流的第一批试点机场，并简单统计了各机场之间相互的大致的货运量。统计过后的各机场间大致的货运量，以及各条航线的长度，对应的飞行时间详见附件。

在一开始，顺丰公司并没有进行航线和载重情况的规划，仅仅是使用简单的点对点直飞的方式来进行机场之间的货物运输。这样就存在航线的覆盖面比较小，有些航段的装载率过低以及往返物流上货运量不均衡等等问题。这种没有经过科学规划的航线一方面运输效率低，另一方面也花费了很多不必要的成本。我们希望通过建立合理的航空网络规划模型来实现效率的提升以及成本的节约。

二、当前的解决方案

当前顺丰规划了 10 条航线使用自有的 11 量全货机进行运输，但并没有做到覆盖所有 17 个城市，航线的规划图以及对应的具体信息如图1和表1所示

图 1 原有航线规划图

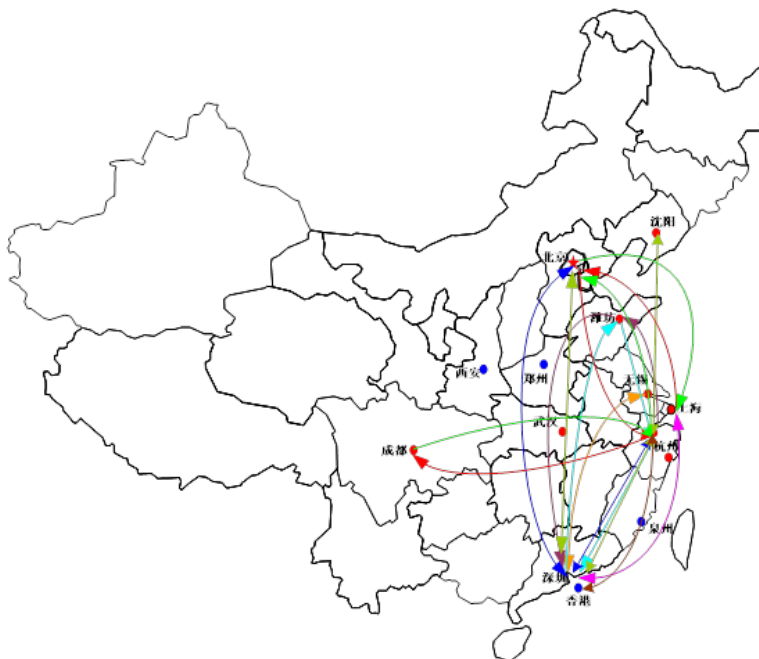


表 1 现有的航线规划

原规划航线	线路	使用机型	最大载货量 (吨)	飞行时间
1	成都-杭州-北京-上海	B757	27.952	4.439
2	深圳-北京-深圳-杭州-深圳	A300	33.438	7.148
3	深圳-潍坊-杭州-深圳	A300	101.95	3.352
3'	深圳-潍坊-杭州-深圳	A300	101.95	3.352
4	上海-北京-杭州-成都	B757	24.235	4.439
5	北京-深圳-北京	A300	53.138	4.628
6	深圳-上海-深圳	A300	44.075	2.849
7	深圳-无锡-深圳	A300	48.691	2.795
8	香港-杭州-沈阳-杭州-香港	B757	28.184	4.590
9	杭州-潍坊-深圳	A300	72.158	3.335
10	香港-杭州-香港	B757	18.852	2.529

为了和下文我们建立的模型进行比较，我们需要计算现有航线规划的总成本。为方便计算，我们对原问题做出一些假设进行简化：我们假设原规划采用顺丰自有飞机直航

与客机腹仓散航运输相结合的方式，直航航线未覆盖到的地方全部采用客机腹仓运输完成，其中直航飞机费用的计算，按航线所运货物量所要求的最小载重机型费用计算，同时还要考虑飞机的固定成本；客机腹仓运输的费用由单位价格，飞行距离和货物重量共同决定，单位价格统一定为 $4.5 \text{ 元} \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{T}^{-1}$ 。此外对于直航航线我们以合并航线模式进行计算，如飞机从 A 地飞往 B 地后飞往 C 地时，飞机在 A 地起飞会带上 B 和 C 两地的货物。

我们收集了一系列数据用于计算 (详见附录)。经过计算，在原有的航线规划下，直航的费用为 370.30 万元，散航的费用为 278.52 万元，总计 648.82 万元。在计算中我们发现，直航平均运输成本为 7.017 元/公斤，高于散航每公斤 5.435 元的价格，这体现出当前规划方案中存在直航航班空载率较高的问题，未能充分发挥规模效应，为我们进一步的优化提供了方向。

三、循环网络模型

因为固定成本的存在，所以各机场之间的航班直接点对点的物流运输不一定是成本最低的，当同一架飞机可以连接多个机场的时候，成本也许会更低。因此我们利用最小费用流的方法，同时构造一个循环，使得飞机在路线中不断重复航线运输。同时，为了保证飞机的运力以及循环航线的时长不会太长，我们只计划安排点对点循环运输以及三点固定方向循环两种航线安排。

点对点循环运输航线：点对点的运输是最简单的物流方式，飞机的运力只要大于两点间最大的需求量即可，简单的点对点航线如图2-(a)所示，在点对点航线下，同一架飞机会在两地之间来回运输，形成循环。



图 2 不同类型的循环航线

反向循环三点运输航线组：当一些机场之间的需求量不是很大的时候，或者是机场间距离过远或过近的时候，可以适当的合并一些机场的需求，形成一个更大的物流航线循环。但是基于快速到达的需求，我们需要控制循环的大小。结果一定的现实情况结合，我们假设除了两个机场之间点对点的航线循环之外，可能只有三个机场之间形成的单向航线循环比较符合我们对时间和运力的要求。

三个机场之间实质上有 6 种不同的运输需求，其中有 3 个需求可以通过直接飞行满足，但另外三个需求中，只有两个可以在一次循环中满足，单个循环不能一次性满足全部 6 种需求。为此，需要将两个方向相反的循环嵌合成一个循环组，如图2-(b)所示：

其中实线代表的是可以直接送达的运输需求（比如从 i 机场送到的 j 机场的运输需求），而虚线代表的是需要经过两段飞行的中转运输需求（比如从 i 机场送到 m 机场的运输需求）。而这架飞机载着 3 地的 6 个需求以相同的方向（顺时针或者逆时针）进行循环运输。而对于这架飞机而言，其载重量应当大于两个中转的需求与一个直接运输需求之和的最大值。

我们针对模型提出几点假设：

1. 无限循环假设：一旦飞机航线确定之后，即视为该飞机仅仅服务这一条循环航线，一直在该航线上不断循环运输，没有起点和终点。
2. 单一航线假设：若两机场之间存在货运关系，那么这两个机场间只有一条航线。
3. 运力合并假设：当航线的货运需求超过最大货机载重 40 吨时，我们在已确定的航线上增加飞机，同样循环路线的飞机可以视为同一架飞机，只不过是运力更大。
4. 起飞最优假设：各机场每一次的起降的固定成本相同，同时飞机的起降是及时的，当飞机需要起飞时可以立刻起飞
5. 充足货机假设：我们拥有足量的三种不同运力的飞机，并将每个飞机进行编号。编号方式采取三位数编号，第一位代表飞机型号，后两位是飞机的编号（如 101 即为运力为 18 吨的 B737 飞机的第一架）

符号约定：

X_{ij}^k ：0-1 变量，k 飞机的线路循环中是否有从 i 到 j 机场的线路，目标变量

F_{ijm}^k ：0-1 变量，k 飞机是否在 ijm 三个机场之间进行三点循环运输，目标变量

C_k ：k 飞机的单位成本

w_k ：k 飞机的最大载货量

D_{ij} ：从 i 运往 j 的货运量

T_{ij} ：从 i 机场至 j 机场的飞行时长

P_{ij} ：从 i 机场飞至 j 机场的固定成本

M：大 M 值

以总运费最小为目标建立如下模型：

$$\min f = f_1 + f_2 + f_3 \quad (1)$$

$$\text{s.t. } f_1 = \sum_k \sum_j \sum_i X_{ij}^k P_{ij} \quad (2)$$

$$f_2 = \sum_k \sum_j \sum_i X_{ij}^k T_{ij} C_k \quad (3)$$

$$f_3 = \sum_k \sum_i \sum_j \sum_m F_{ijm}^k C_k [D_{im}(T_{ij} + T_{jm}) + D_{jl}(T_{mi} + T_{jm})] \quad (4)$$

$$\max\{D_{ij} + F_{ijm}^k(D_{im} + D_{ji})\}X_{ij}^k \leq W_k \quad (5)$$

$$\sum_i \sum_j X_{ij}^k \leq 3 \quad (6)$$

$$\sum_k (X_{ij}^k + X_{ji}^k)M \geq D_{ij} + D_{ji} \quad (7)$$

$$\sum_j X_{ij}^k = \sum_m X_{mi}^k \quad (8)$$

$$\sum_k X_{ij}^k \leq 1 \quad (9)$$

$$X_{ij}^k - X_{ji}^k \leq M F_{ijm}^k \quad (10)$$

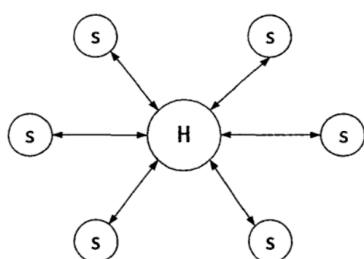
$$F_{ijm}^k + F_{jmi}^k + \dots + F_{jim}^k + F_{imj}^k \leq 1 \quad (11)$$

$$\sum_i \sum_k F_{ijm}^k = \sum_n \sum_k F_{nmj}^k \quad (12)$$

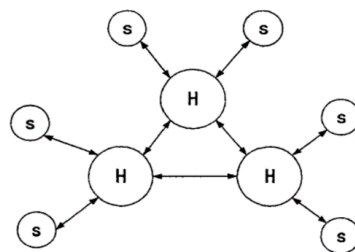
式中，公式 (2) 代表的是所有运输任务的固定成本总和；公式 (3) 代表的是可以直接运输到达的需求满足的单位成本；公式 (4) 代表的是需要中转才能送到的需求满足的单位成本；公式 (5) 代表的是保证每个循环中的飞机容量能够满足循环中最大的需求量；公式 (6) 代表的是同一架飞机最多只能满足三个城市之间的需求；公式 (7) 代表的是只要两个机场之间有运输需求，那么一定有且只有一架飞机会满足这两个机场之间的需求；公式 (8) 代表的是保证同一架会一直在一个固定的线路上循环飞行运输；公式 (9) 代表的是最多只能有一架飞机服务并满足两个机场之间的物流需求；公式 (10) 代表的是对是否存在三点间运输的 01 变量判断。公式 (11) 代表的是三点间循环关系只能有至多一种，公式 (12) 代表的是三点循环必须成对出现以形成循环组。

四、轴辐式网络模型

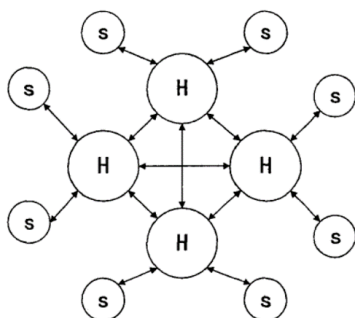
轴辐式航空网络模式是由枢纽机场、非枢纽机场以及辐射航线共同组成的，这种模式充分体现规模经济效应，并且能合理配置资源，提高运输效率。对企业而言，应选定用作区域集散的枢纽机场，区域内所有非枢纽机场收集和派送的快件都应在该机场进行



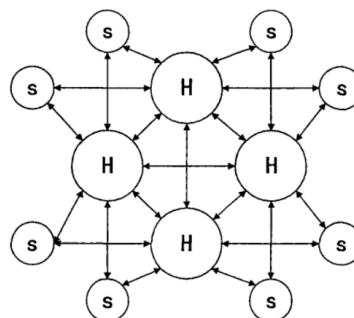
(a) 单枢纽轴辐式航空运输网络



(b) 多枢纽轴辐式航空运输网络



(c) 单一分派轴辐式航空运输网络



(d) 多重分配轴辐式航空运输网络

图 3 不同类型的轴辐式航空网络

分拣操作，同时枢纽机场之间通过全货机进行运输。轴辐式航空网络可以根据不同标准分为不同的类型，根据枢纽量的不同，可以分为单枢纽轴辐式航空运输网络和多枢纽轴辐式航空运输网络；根据非枢纽机场到枢纽机场的分派方式差异可以分为单一分派轴辐式航空运输网络 and 多重分配轴辐式航空运输网络，不同类型的轴辐式网络如图3所示。

我们选择建立一个形如图3-(c) 所示的单一分派枢轴式运输网络来对现有的运输网络进行优化。根据现有的研究，一般枢纽机场的个数为所有航空运输点数的 \sqrt{n} ，这里共计 17 个运输点，需要的枢纽数量为 4。根据我们已知的各项数据，我们建立如下线性模型求解枢纽机场的选址以及相应的普通机场与枢纽机场的连接关系。

我们假定：

1. 从普通机场到枢纽机场采用客机腹仓运输，且运力充足
2. 枢纽机场之间全部采用全货机直航，全货机可以租赁，且使用成本与自有货机一致，假定所有货机每天的运行时间是 6 小时

符号约定：

Z_{km}^{ij} : 0-1 变量，从 i 到 j 的货物是否经过 k,m 枢纽，目标变量

B_{km}^N : 整数变量, 从 k 到 m 使用 N 飞机的数量, 目标变量

Y_k : 0-1 变量, 机场 k 是否为枢纽机场, 目标变量

m_{ik} : 0-1 变量, k 是否为 i 机场的枢纽, 目标变量

F_k^N : N 类飞机从 k 机场起飞的固定成本

C_{ab} : a 到 b 散航运输成本元/kg · km, 这里全部记为 4.5 元/吨 · km。

Q_N : N 飞机的载重

W_{ij} : i 到 j 的运输量

I_{ij} : 0-1 变量, i 到 j 是否有货物需要运输

T_{km} : k 到 m 的飞行时间

P_N : N 飞机单小时成本 (按一天飞 6 小时算)

CN : 枢纽的数量

M : 大 M 值

以总运费最小化为目标建立如下模型:

$$\min f = f_1 + f_2 \quad (13)$$

$$\text{s.t. } f_1 = \sum_k \sum_m \sum_i \sum_j [C_{ik} D_{ik} + C_{mj} D_{mj}] Z_{km}^{ij} W_{ij} \quad (14)$$

$$f_2 = \sum_k \sum_m \sum_N B_{km}^N (T_{km} P_N + F_k^N) \quad (15)$$

$$\sum_i \sum_j W_{ij} Z_{km}^{ij} \leq \sum_N B_{km}^N Q_N \quad (16)$$

$$B_{kk}^N = 0 \quad (17)$$

$$\sum_k \sum_m Z_{km}^{ij} = I_{ij} \quad (18)$$

$$0 \leq Z_{km}^{ij} \leq Y_k \quad (19)$$

$$0 \leq Z_{km}^{ij} \leq Y_m \quad (20)$$

$$\sum_k Y_k = CN \quad (21)$$

$$M \times m_{ik} \geq \sum_j \sum_m Z_{km}^{ij} \quad (22)$$

$$\sum_k m_{ik} = 1 \quad (23)$$

式中, 公式 (14) 表示普通机场到枢纽机场的运输成本总和; 公式 (15) 表示枢纽机场之间运输成本; 公式 (16) 表示货物汇集到枢纽机场后发往另一枢纽机场, 使用的全货

机的总载重必须大于等于需要运输的货物重量；公式 (17) 枢纽自己到自己的飞机数量为 0；公式 (18) 表示每个普通机场只对应一个枢纽机场，若 i, j 两个机场之间没有运输任务，那么 Z_{km}^{ij} 必等于 0；公式 (19) 和 (20) 表示当 k 机场不是枢纽机场时， Z_{km}^{ij} 必等于 0；公式 (21) 表示总的枢纽数量为 CN ；公式 (22) 建立了变量 m 和变量 Z 之间的关系，当 k 是 i 的枢纽时， m_{ik} 为 1；公式 (23) 表示每个机场只有一个枢纽。

五、模型求解与改进

由于循环网络模型中存在非线性约束条件较难实现，我们仅通过编程实现了轴辐式网络模型的求解。我们使用 `gurobi` 作为求解器求解该模型，得到总的运输费用为 520.5 万，四个枢纽分别为北京，杭州，深圳，武汉。普通机场与枢纽机场的对应关系如表2所示。相应的航线规划如图4所示：

表 2 枢纽机场与普通机场对应关系

枢纽机场	对应机场
北京	沈阳
杭州	无锡，福州，上海，台北
武汉	长沙，西安，重庆，成都，郑州，乌鲁木齐，潍坊
深圳	香港

图 4 航线规划图



表 3 修正后枢纽机场与普通机场对应关系

枢纽机场	对应机场
北京	沈阳，潍坊，郑州
杭州	无锡，福州，上海，台北
成都	长沙，西安，重庆，乌鲁木齐
深圳	香港，武汉

在规划结果中，北京，杭州，深圳作为枢纽能联通中国三大经济带，同时这三个城市的总业务量也排名前三，因此这三个城市作为枢纽理所应当。武汉地处华中，是我国重要的交通枢纽，但本身的运输量较小，而且位置偏东，并不能很好的覆盖广袤的中西南地。在规划结果中，武汉连接了太多的非枢纽机场，显得分配结果很不平衡。综合考虑后，我们用成都代替武汉作为覆盖中西南地区的第四个枢纽。

再次运行模型，求解得到总运费为 562.5 万。普通机场与枢纽机场的对应关系如表3所示，相应的航线规划如图5所示。虽然费用上比原规划增加了 42 万，我们认为这样的规划兼顾了全国各地，同时契合了国家发展西部的战略，是更具有前景的模式。与原规划相比，节省了约 90 万的费用，效果还是很显著的。

图 5 修正后航线规划图



六、展望和不足

在国内航空运输需求逐年增长的情况下，会有更多的物流公司会使用全货机来实现更加快速和高效的远距离物流运输。因此，根据我们之前所建立航空路线模型的结论，使用简单的点对点的航空运输实际上会增加很多没必要的成本。实际上可以根据物流需求量在国内按地域划分选择（比如西南部成都、南部深圳、东部杭州以及北部北京）比较大的机场作为枢纽中转机场进行配送，这样做一方面可以通过长距离的规模化运输减少空载损失，降低单位运输成本。同时，根据需求量变动大小的情况增设或者合并一些机场也可以一定程度上降低成本。

在建立相关模型的时候，我们忽略掉了很多实际中会对成本造成影响的因素。我们全程都没有将时间要素纳入考虑范围，而是一味追求降低成本，在实际中，在保障快递时效性的前提下最大程度的节省成本才是企业追求的目标。此外，我们忽略了运输过程中一系列会造成流程耽搁的因素，比如交通拥堵、极端天气、运力不足、航空管制等，这些都会造成额外的成本。此外我们对很多数据都做了简化，比如用直线距离代表实际航线长度，比如用统一的航速代替所有型号飞机的航速。

此外，我们仅仅是建立了每一天的飞行航线安排的模型，并没有做出准确的各飞机的起降时间的安排，也没有考虑跨日期的运输方案。

我们自始至终把物流需求视为一个定值。实际上从短期来看，每天的物流需求是存在一定程度的波动的，这样可能会对机型和成本的计算有一定程度的影响。而从长期来看，关于高时效性的物流的需求会增长，我们所建立的模型并不能实现实时的根据某一时期的需求情况动态的变更航线安排。

我们的整个分析过程仅仅围绕着航空路线进行分析，如果能够和其他的物流方式进行结合一同建立模型，那么我们有可能找到成本更低而且更能保证效率的办法。现在的铁路和公路运输速度也比较快，大多数地方也可以实现当日送达，空铁联运的方法会比纯空运更节省成本。

参考文献

- [1] 张孟坤, 李婷婷. 中枢辐射式航线网络结构设计 [J]. 中国民用航空, 2006,63(3):42-44.
- [2] 翁克瑞, 杨超. 顺应潮流的轴辐式物流网络 [J]. 物流技术, 2006, (7):14-16.
- [3] 高娇蛟. 我国快递企业航空运输网络的优化设计研究 [D]. 北京交通大学, 2011.
- [4] 杨明. 我国快递企业航空运输网络设计研究 [D]. 西南交通大学, 2016.

附录 A

代码托管于 GitHub, 详见 <https://github.com/LiuSiyuan12138/AviationNetworkPlanning>

附录 B

表 4 起飞固定成本

	B737	B757	A300
北京	1198	3762	5207
上海	1248	3812	5257
重庆	1090	3918	5407
沈阳	1090	3918	5407
武汉	1090	3918	5407
成都	1248	3812	5257
西安	1090	3918	5407
郑州	1090	3918	5407
无锡	1331	4014	5481
潍坊	1331	4014	5481
杭州	1090	3918	5407
福州	1090	3918	5407
长沙	1090	3918	5407
深圳	1248	3812	5257
香港	2658	6482	9031
台北	2658	6482	9031
乌市	1090	3918	5407

表 5 运输业务量

	北京	上海	重庆	沈阳	武汉	成都	西安	郑州	无锡	潍坊	杭州	福州	长沙	深圳	香港	台北	乌市
北京	0	13585	2339	9219	3541	4825	3418	3483	11433	11911	11978	4923	2143	21460	1799	1521	3986
上海	20425	0	1974	6909	3106	3810	2253	2416	0	8803	0	0	2157	21265	5780	2216	2045
重庆	750	589	0	338	354	0	188	173	459	273	598	308	115	1766	53	92	360
沈阳	6190	3073	519	0	600	839	425	513	2070	2207	2997	657	364	4188	735	204	529
武汉	2822	1827	520	464	0	1010	407	565	1468	825	1930	989	0	5029	375	246	456
成都	3036	1059	0	604	662	0	474	462	1281	1057	1416	654	557	3628	157	214	565
西安	1760	815	140	382	266	454	0	316	952	396	714	338	159	1789	133	94	467
郑州	1726	1106	290	465	536	445	310	0	1029	641	1311	719	248	2685	204	128	271
无锡	16331	0	1697	5880	3129	4807	2364	2711	0	8247	0	0	1783	33784	8294	2579	1465
潍坊	9092	6419	784	2533	890	1699	797	959	5006	0	5672	1996	954	12446	2829	1024	685
杭州	23857	0	4524	9332	4366	9145	4773	4088	0	13788	0	0	2764	58370	18852	5152	3636
福州	7525	0	693	1894	1480	1922	855	1367	0	2956	0	0	1054	0	5715	3562	1038
长沙	1470	799	144	265	0	628	171	221	686	706	1105	478	0	3884	626	122	178
深圳	53138	44075	6925	14984	11754	13746	5754	9673	48691	24409	63753	0	9992	0	0	25011	8160
香港	2309	6347	142	858	215	210	71	115	6422	2125	9601	2675	140	0	0	3066	52
台北	1047	1423	54	339	160	40	29	25	1976	743	2527	2423	33	12033	4154	0	3
乌市	895	294	84	146	122	243	208	75	216	184	509	198	64	1164	16	10	0

表 6 城市间距离

	北京	上海	重庆	沈阳	武汉	成都	西安	郑州	无锡	潍坊	杭州	福州	长沙	深圳	香港	台北	乌市
北京	0	1088	1640	610	1087	1697	942	646	1005	582	1135	1586	1363	1967	1973	1720	2464
上海	1088	0	1537	1193	676	1670	1243	815	117	658	176	609	874	1211	1235	688	3326
重庆	1640	1537	0	2048	758	313	580	895	1341	1417	1327	1319	644	1069	1107	1560	2353
沈阳	610	1193	2048	0	1500	2132	1528	1156	1350	700	1307	1795	1790	2318	2339	1872	3075
武汉	1087	676	758	1500	0	982	670	480	586	815	568	700	288	886	925	939	2818
成都	1697	1670	313	2132	982	0	604	1011	1552	1548	1550	1579	905	1333	1365	1823	2099
西安	942	1243	580	1528	670	604	0	452	1140	964	1162	1368	787	1402	1424	1587	2306
郑州	646	815	895	1156	480	1011	452	0	700	545	787	1112	768	1360	1388	1319	2493
无锡	1005	117	1341	1350	586	1552	1140	700	0	581	144	628	805	1188	1201	734	3265
潍坊	582	658	1417	700	815	1548	964	545	581	0	924	1183	1109	1911	1677	1317	3265
杭州	1135	176	1327	1307	568	1550	1162	787	144	924	0	488	744	1071	1075	597	3281
福州	1586	609	1319	1795	700	1579	1368	1112	628	1183	488	0	675	671	674	249	3939
长沙	1363	874	644	1790	288	905	787	768	805	1109	744	675	0	638	672	922	2893
深圳	1967	1211	1069	2318	886	1333	1402	1360	1188	1911	1071	671	638	0	30	809	3422
香港	1973	1235	1107	2339	925	1365	1424	1388	1201	1677	1075	674	672	30	0	829	3414
台北	1720	688	1560	1872	939	1823	1587	1319	734	1317	597	249	922	809	829	0	3706
乌市	2464	3326	2353	3075	2818	2099	2306	2493	3265	2774	3281	3939	2893	3422	3414	3706	0

表 7 城市间运输时间

	北京	上海	重庆	沈阳	武汉	成都	西安	郑州	无锡	潍坊	杭州	福州	长沙	深圳	香港	台北	乌市
北京	0.00	1.28	1.93	0.72	1.28	2.00	1.11	0.76	1.18	0.68	1.34	1.87	1.60	2.31	2.32	2.02	2.90
上海	1.28	0.00	1.81	1.40	0.80	1.96	1.46	0.96	0.98	0.77	1.47	5.08	1.03	1.42	1.45	0.81	3.91
重庆	1.93	1.81	0.00	2.41	0.89	2.61	0.68	1.05	1.58	1.67	1.56	1.55	0.76	1.26	1.30	1.84	2.77
沈阳	0.72	1.40	2.41	0.00	1.76	2.51	1.80	1.36	1.59	0.82	1.54	2.11	2.11	2.73	2.75	2.20	3.62
武汉	1.28	0.80	0.89	1.76	0.00	1.16	0.79	0.56	0.69	0.96	0.67	0.82	2.40	1.04	1.09	1.10	3.32
成都	2.00	1.96	2.61	2.51	1.16	0.00	0.71	1.19	1.83	1.82	1.82	1.86	1.06	1.57	1.61	2.14	2.47
西安	1.11	1.46	0.68	1.80	0.79	0.71	0.00	0.53	1.34	1.13	1.37	1.61	0.93	1.65	1.68	1.87	2.71
郑州	0.76	0.96	1.05	1.36	0.56	1.19	0.53	0.00	0.82	0.64	0.93	1.31	0.90	1.60	1.63	1.55	2.93
无锡	1.18	0.98	1.58	1.59	0.69	1.83	1.34	0.82	0.00	0.68	1.20	5.23	0.95	1.40	1.41	0.86	3.84
潍坊	0.68	0.77	1.67	0.82	0.96	1.82	1.13	0.64	0.68	0.00	1.09	1.39	1.30	2.25	1.97	1.55	3.84
杭州	1.34	1.47	1.56	1.54	0.67	1.82	1.37	0.93	1.20	1.09	0.00	4.07	0.88	1.26	1.26	0.70	3.86
福州	1.87	5.08	1.55	2.11	0.82	1.86	1.61	1.31	5.23	1.39	4.07	0.00	0.79	5.59	0.79	0.29	4.63
长沙	1.60	1.03	0.76	2.11	2.40	1.06	0.93	0.90	0.95	1.30	0.88	0.79	0.00	0.75	0.79	1.08	3.40
深圳	2.31	1.42	1.26	2.73	1.04	1.57	1.65	1.60	1.40	2.25	1.26	5.59	0.75	0.00	0.25	0.95	4.03
香港	2.32	1.45	1.30	2.75	1.09	1.61	1.68	1.63	1.41	1.97	1.26	0.79	0.79	0.25	0.00	0.98	4.02
台北	2.02	0.81	1.84	2.20	1.10	2.14	1.87	1.55	0.86	1.55	0.70	0.29	1.08	0.95	0.98	0.00	4.36
乌市	2.90	3.91	2.77	3.62	3.32	2.47	2.71	2.93	3.84	3.26	3.86	4.63	3.40	4.03	4.02	4.36	0.00