

# Chapter 5

## 运输决策

### Transport Decisions

# 内容提要

- **运输服务的选择 (Mode/Service Selection)**
- **路线的选择 (Carrier Routing)**
- **行车路线和时刻表的制定 (Routing & Scheduling)**
- **合并运输 (Freight Consolidation)**

# 运输服务选择考虑的因素

- 运输费用；
- 可靠性；
- 在途时间；
- 丢失、损坏、货物跟踪查询；
- 承运人特征；
- 托运人市场特征。

# 运输方式及服务的选择

- 基本成本的权衡

运输成本种类	运输方式		
	航空	卡车	铁路
运费 (Transportation)			
在途库存 (In-transit inventory)			
起点库存 (Source inventory)			
终点库存 (Destination inventory)			

# 例：运输方式及服务的选择

- 现将成品从工厂库存运到另一仓库。期望运量是每年 **D=120**万磅。成品价值 **C=25**美元/磅，工厂和库存持有成本是每年 **I=30%**。其他数据如下。
- 应如何选择运输方式？

运输方式	运价 <b>R</b> (美元/担)	运输时间 <b>T</b> (天)	运量规模 <b>Q</b> (万磅)
铁路运输	<b>0.11</b>	<b>25</b>	<b>10</b>
卡车运输	<b>0.20</b>	<b>13</b>	<b>4</b>
航空运输	<b>0.88</b>	<b>1</b>	<b>1.6</b>

# 例：运输方式及服务的选择

成本类型	计算方法	铁路运输	卡车运输	航空运输
运输成本	RD	<b>.11</b> (1,200,000) = \$132,000	<b>.20</b> (1,200,000) = \$240,000	<b>.88</b> (1,200,000) = \$1,056,000
在途库存	$\frac{\text{ICDT}}{365}$	[.30(25) 1,200,000(25)]/365 = \$616,438	[.30(25) 1,200,000(13)]/365 = \$320,548	[.30(25) 1,200,000(1)]/365 = \$24,658
工厂库存	$\frac{\text{ICQ}}{2}$	[.30(25) 100,000]/2 = \$375,000	[.30(25) 40,000]/2 = \$150,000	[.30(25) 16,000]/2 = \$60,000
基层库存	$\frac{\text{ICQ}}{2}$	[.30(25.11) 100,000]/2 = \$376,650	[.30(25.20) 40,000]/2 = \$151,200	[.30(25.88) 16,000]/2 = \$62,112
Totals		\$1,500,088	<b>\$861,748</b>	\$1,706,770

含运输费率

服务更好



# 例：考虑竞争的运输方式选择

- 位于匹兹堡的一家设备制造商需要从两个供应商那里购买 **3000**箱塑料配件，每箱配件的价格是 **100**美元。目前，从两个供应商采购的数量是一样的。两个供应商都采用铁路运输方式，平均运送时间也相同。但如果其中一个供应商能将平均交付时间缩短，那么每缩短一天，制造商会将采购订单的**5%**(即**150**箱)转给这个供应商。如果不考虑运输成本，供应商每卖出一箱配件可以获得 **20%**的利润。
- 供应商 **A** 或 **B** 是否要考虑将铁路运输方式改为航空或卡车运输？

## 各种运输方式的运费与时间(续)

运输方式	运输费率 (美元/箱)	运送时间 (天)
铁路运输	<b>2.50</b>	<b>7</b>
卡车运输	<b>6.00</b>	<b>4</b>
航空运输	<b>10.35</b>	<b>2</b>



## 不同运输方式的损益分析(续)

运输方式	销售量 (箱)	毛利 (美元)	运输成本 (美元)	纯利润 (美元)
铁路运输	1500	30000	3750	26250
卡车运输	1950	39000	11700	27300
航空运输	2250	45000	23288	21713

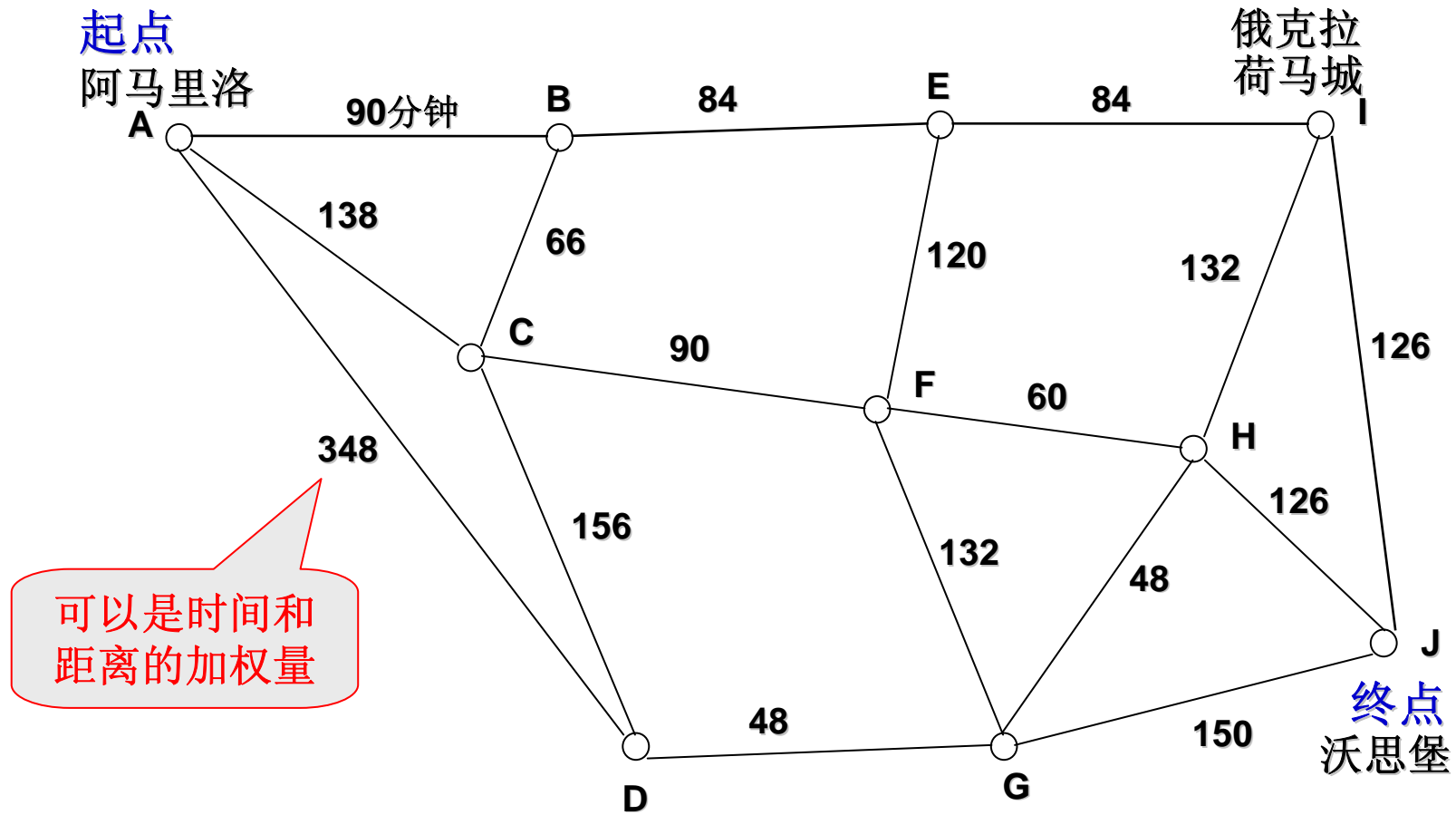
# 选择方法的评价

- 如果供应商和买方对彼此的成本有一定了解将会促进双方的有效合作，但实际中很难做到。
- 如果渠道中有相互竞争的供应商，买方和供应商都应该采取合理的行动来平衡运输成本和运输服务，以获得最佳收益。
- 如果供应商提供的运输服务优于竞争对手，他很可能会提高价格来补偿(至少是部分补偿)增加的成本。因此，买方在决定是否购买的同时应考虑产品价格和运输绩效。
- 运输费率、产品种类、库存成本的变化和竞争对手可能采取的反击措施等都会增加了问题的动态因素，在此没有直接涉及。
- 没有考虑运输方式的选择对供应商存货的间接作用。供应商也会和买方一样由于运输方式变化改变运输批量，进而导致库存水平的变化。

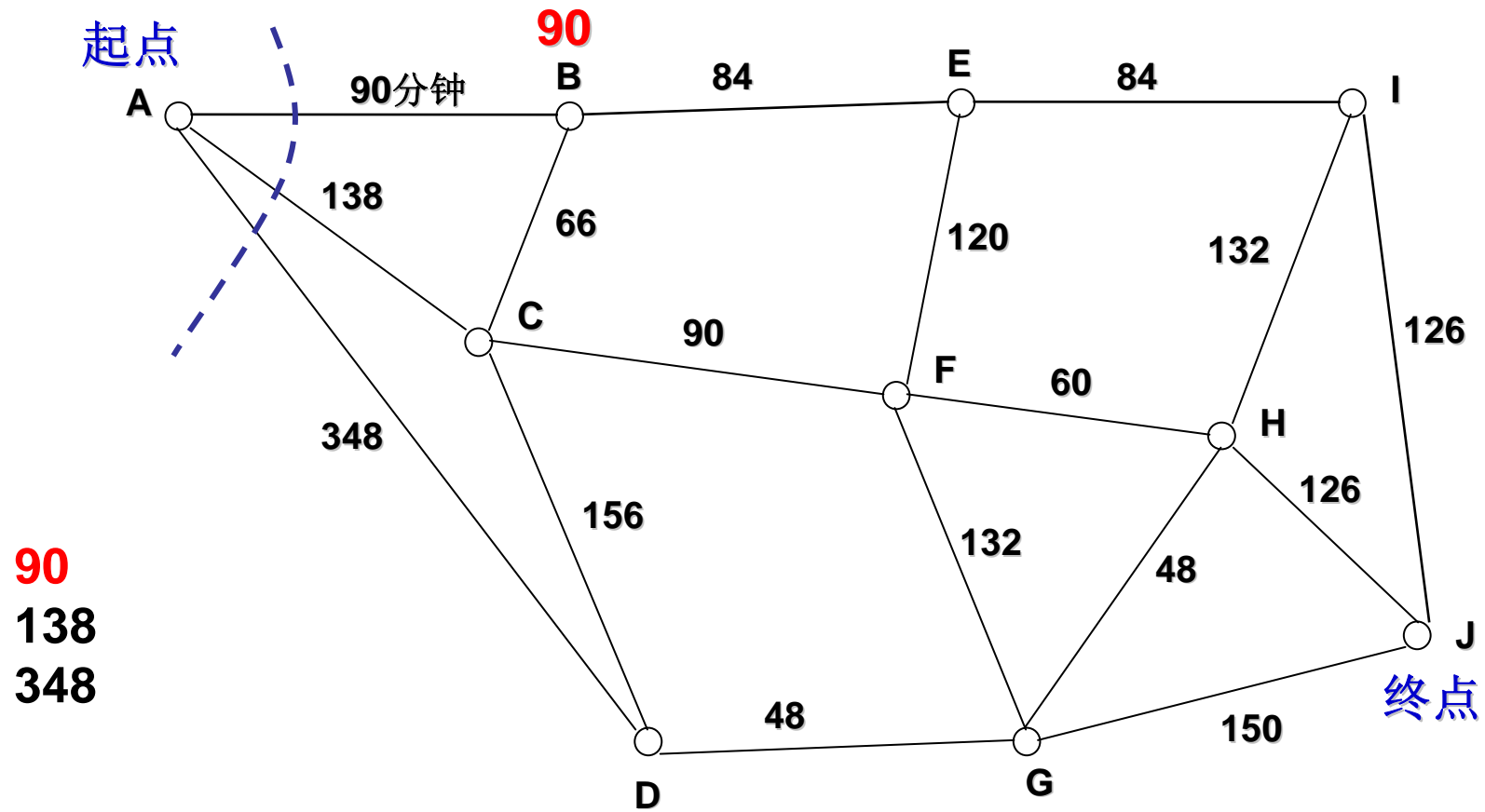
# 线路选择问题的分类

- 路线选择问题种类繁多，我们可以将其归为几个基本类型：
  - 起讫点不同的单一路径规划；
  - 多个起讫点的路径规划(**Routing from Multiple Points**);
  - 起点和终点相同的路径规划(**Routing with a Coincident Origin/Destination Point**)。

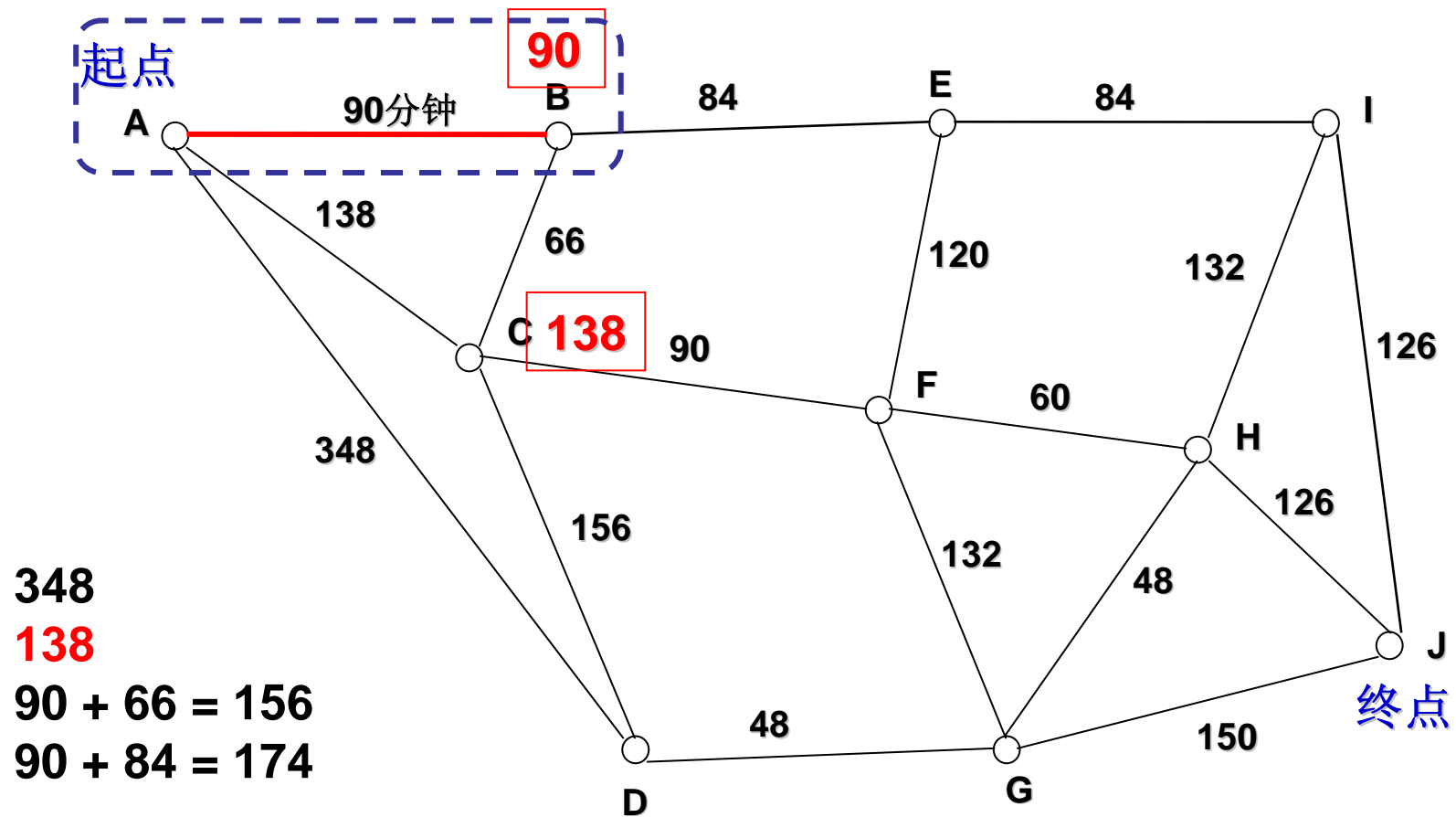
# 起讫点不同的单一路径



# 起讫点不同的单一路径(续)

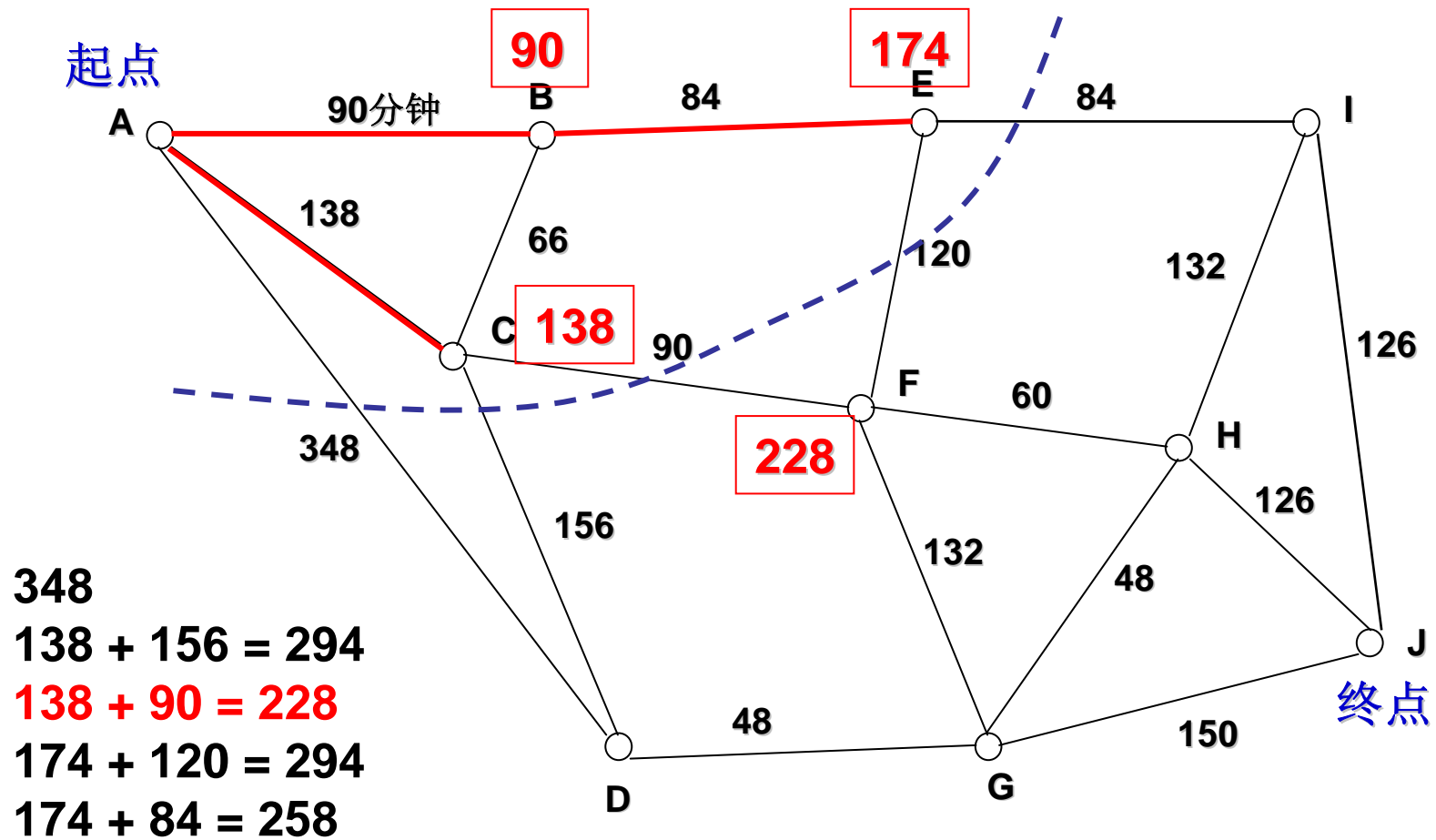


# 起讫点不同的单一路径(续)



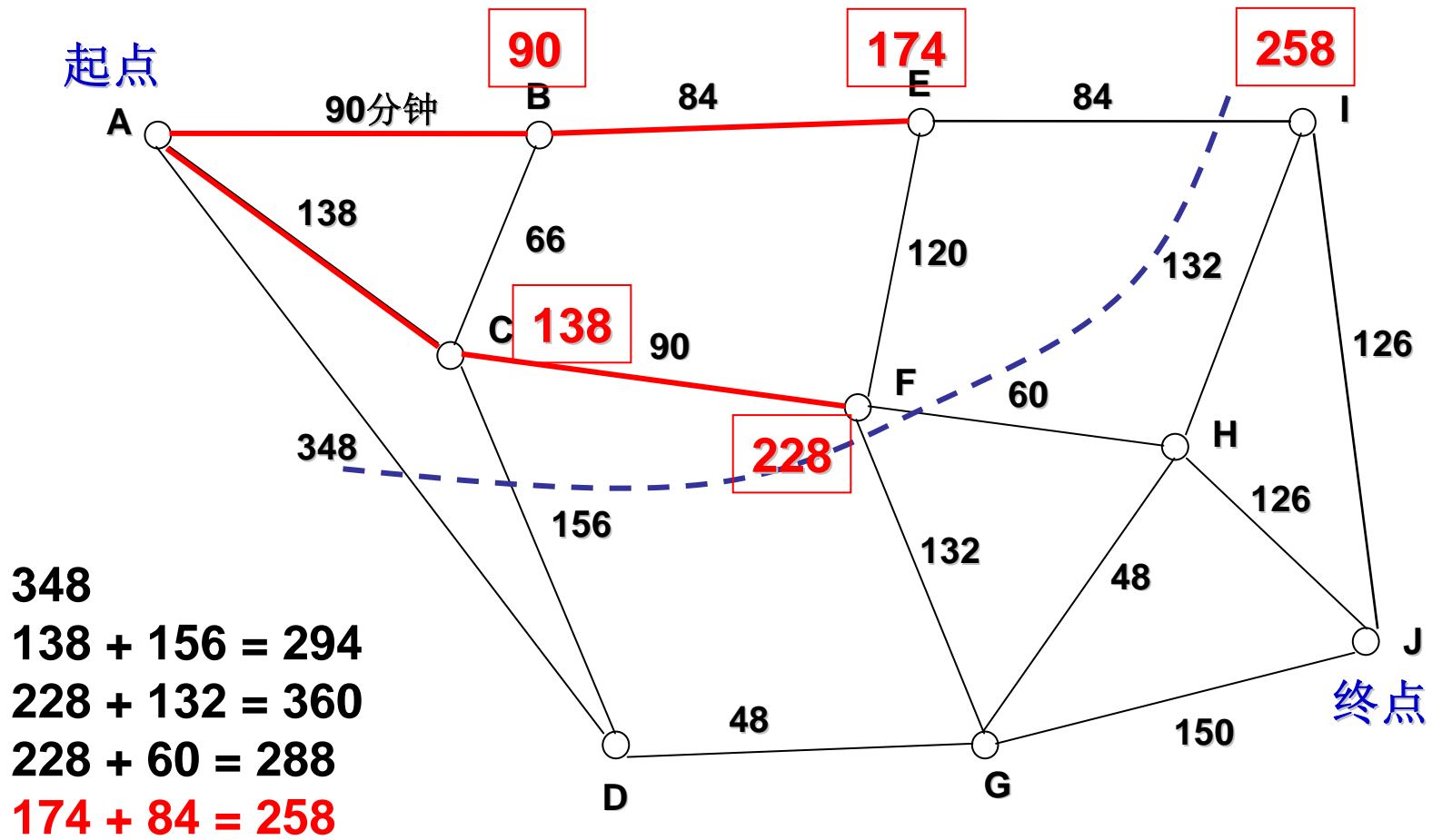


# 起讫点不同的单一路径(续)



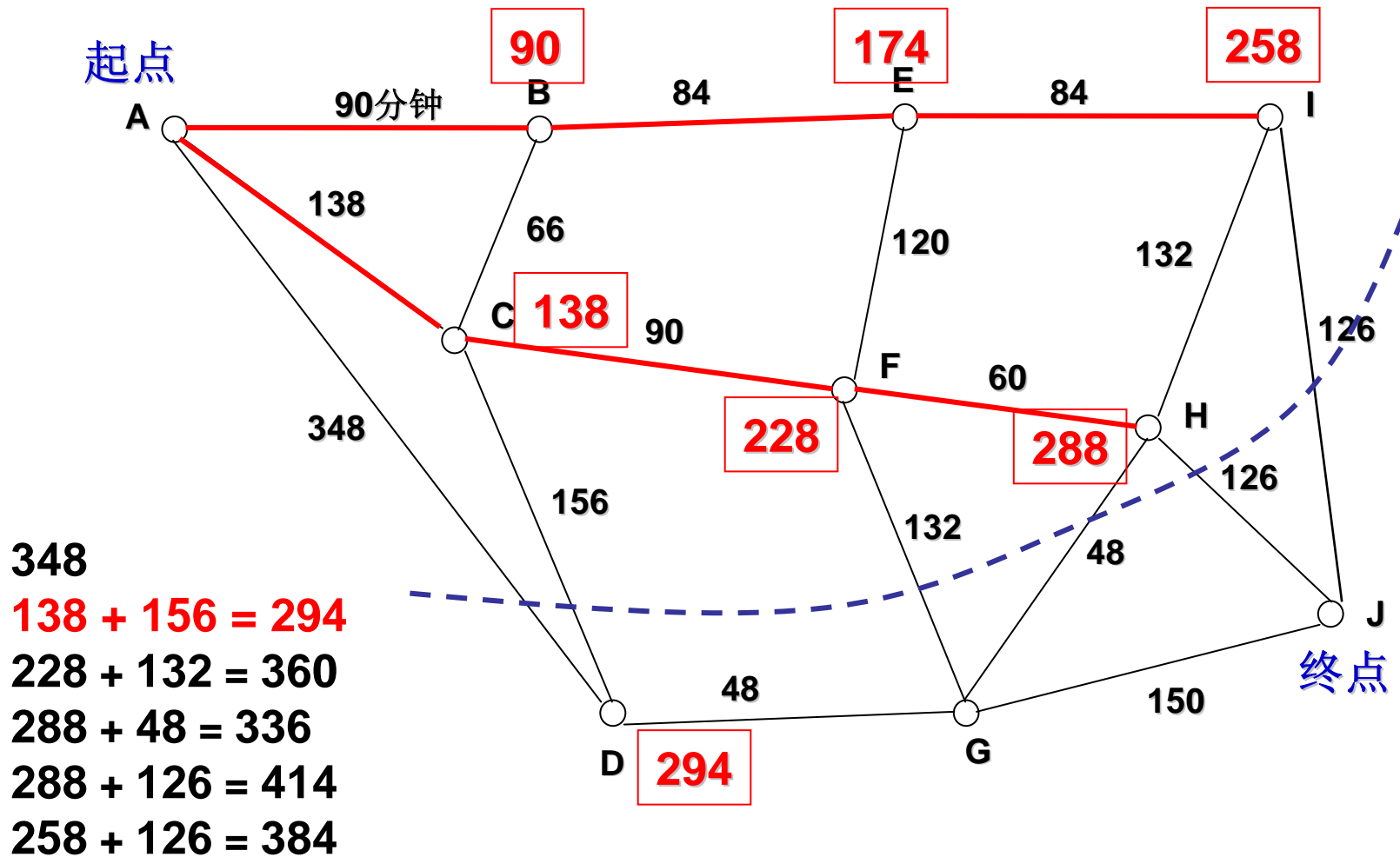


# 起讫点不同的单一路径(续)

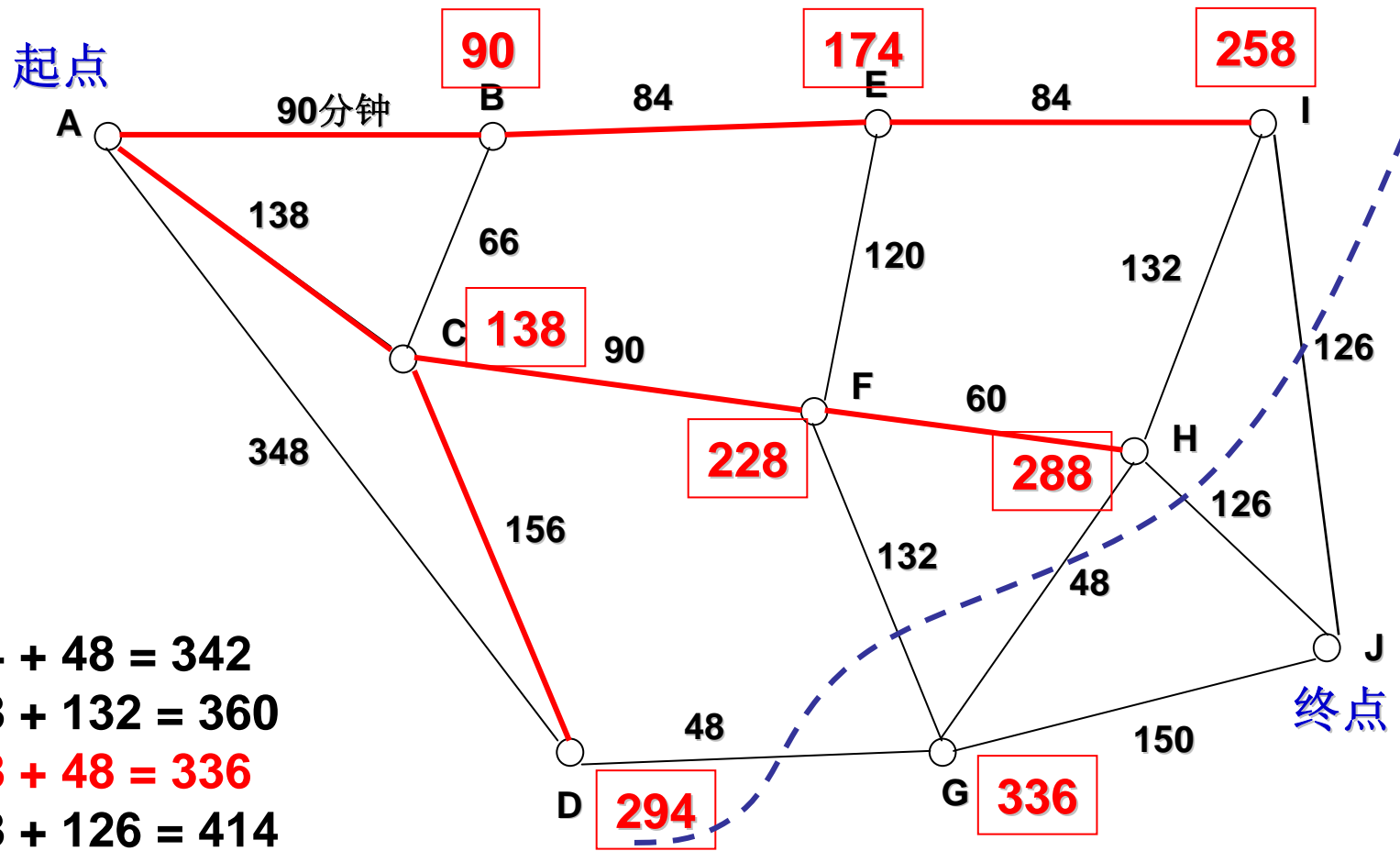




# 起讫点不同的单一路径(续)

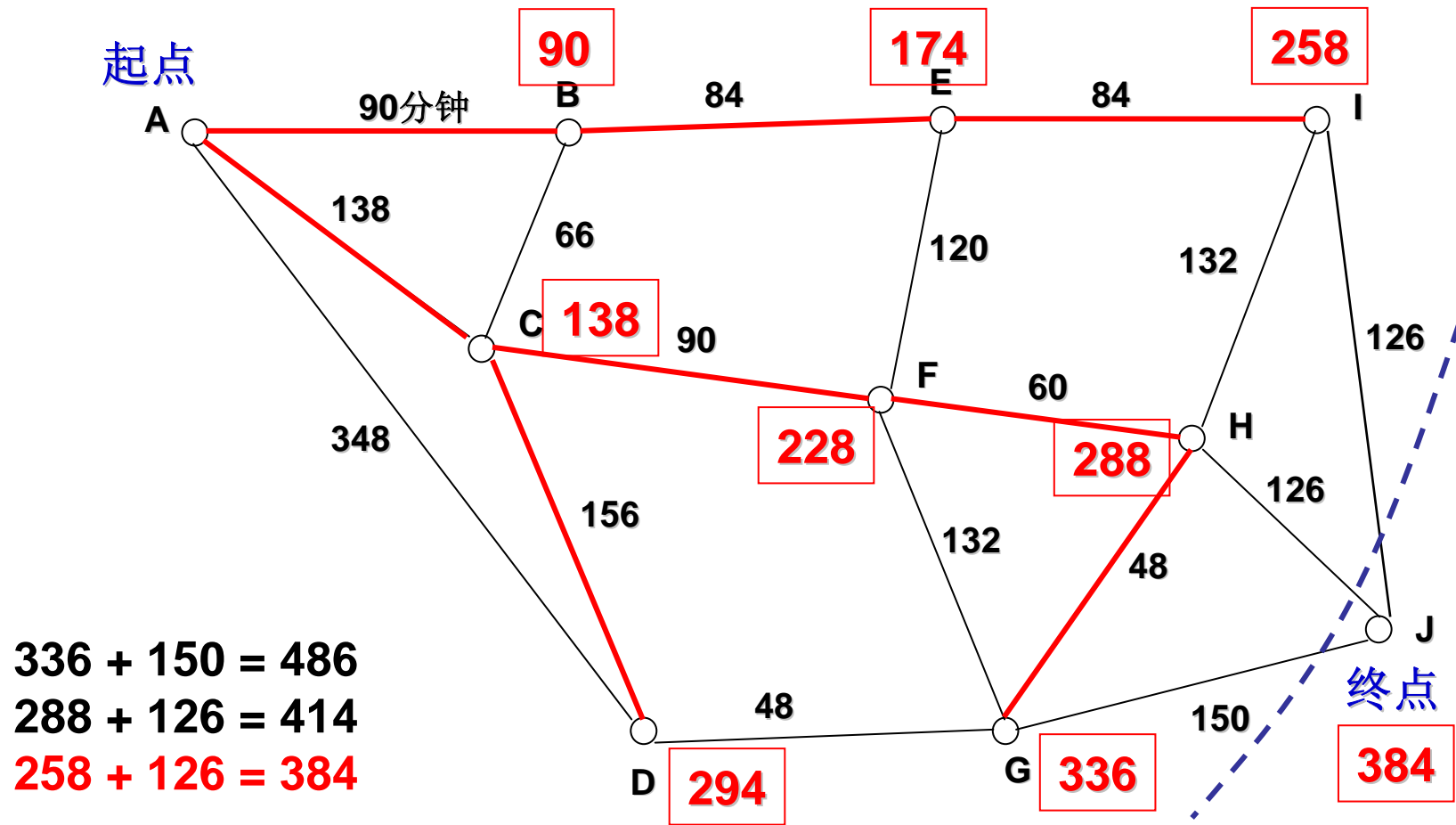


# 起讫点不同的单一路径(续)

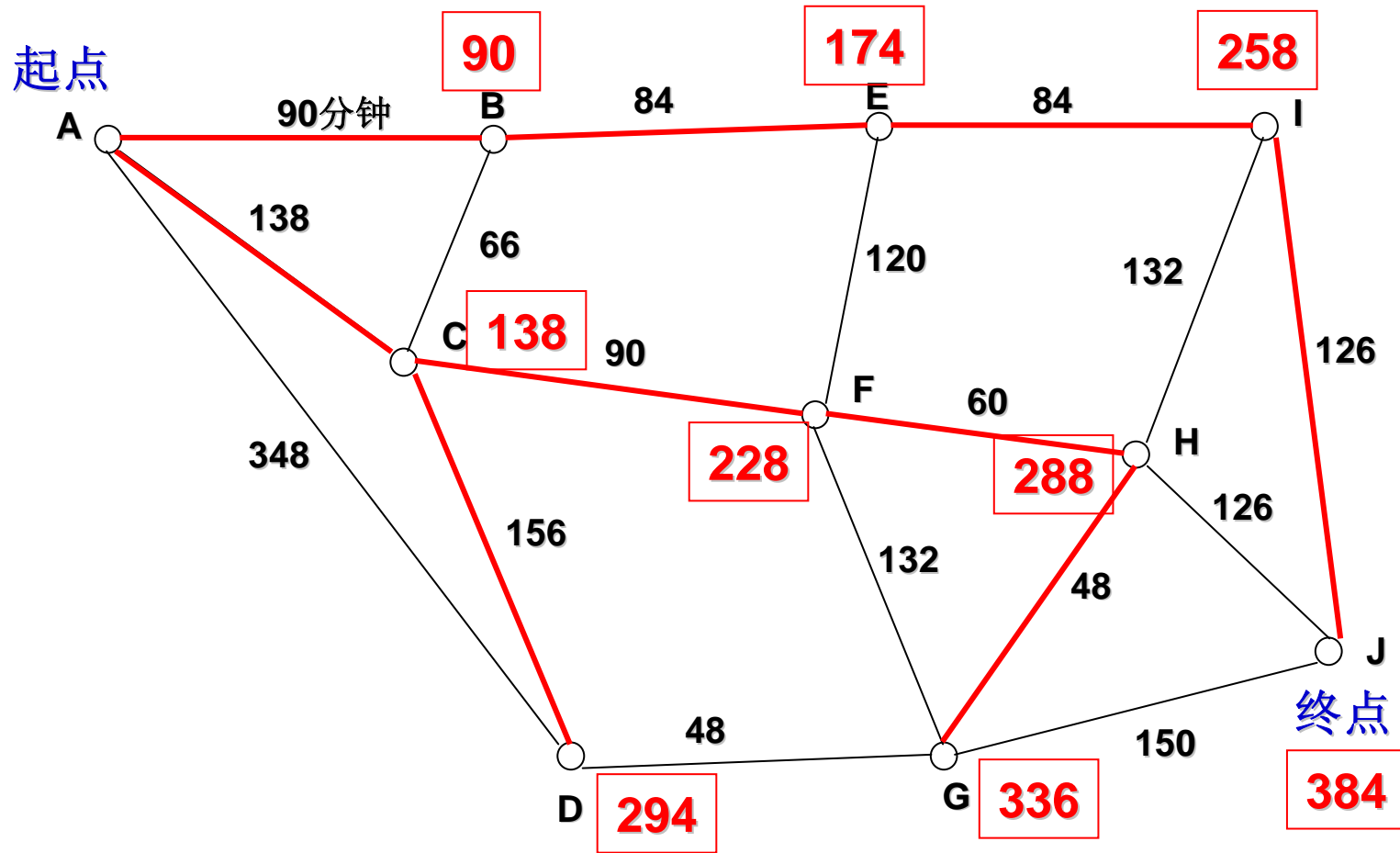


- 294 + 48 = 342
- 228 + 132 = 360
- 288 + 48 = 336**
- 288 + 126 = 414
- 258 + 126 = 384

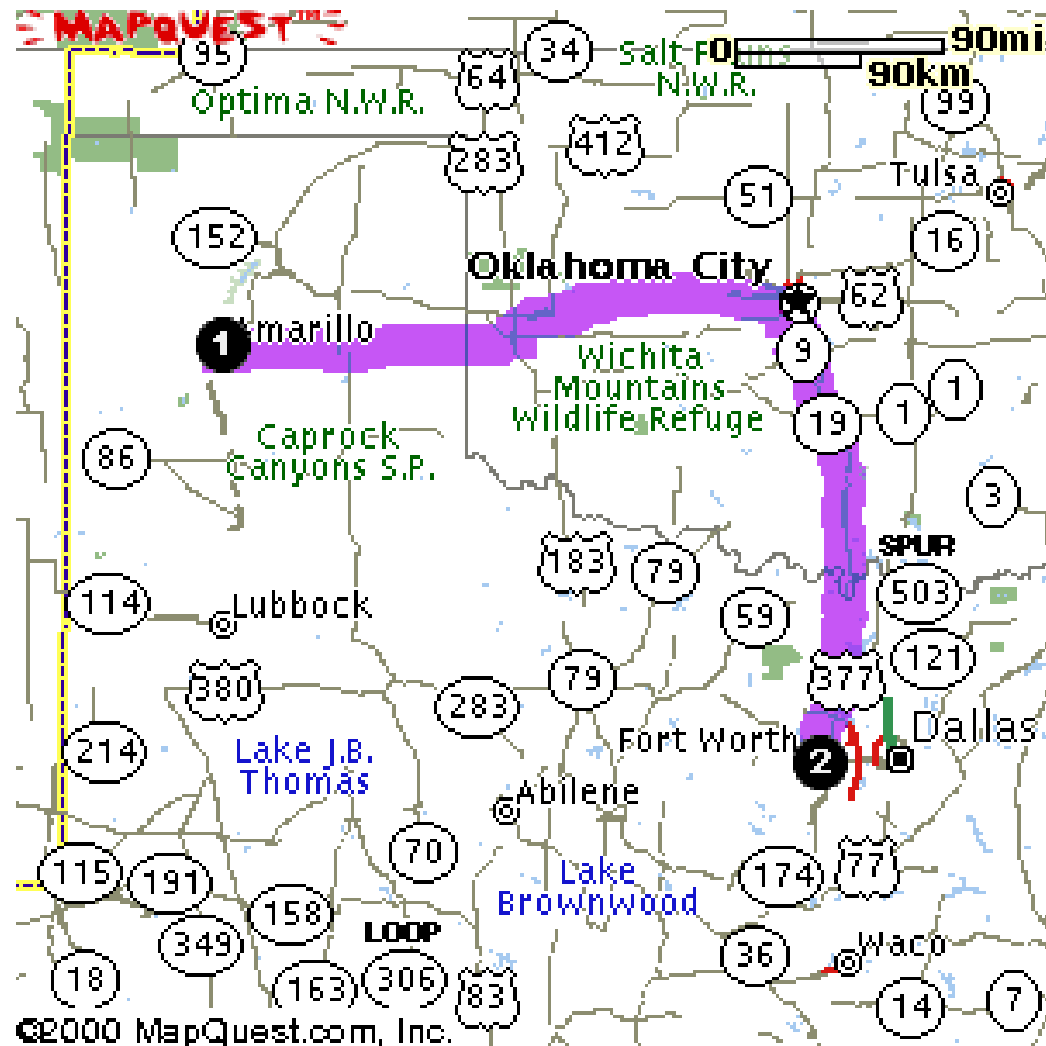
# 起讫点不同的单一路径(续)



# 起讫点不同的单一路径(续)



# 设计的线路图



[www.mapquest.com](http://www.mapquest.com)

# 起讫点不同的单一路径

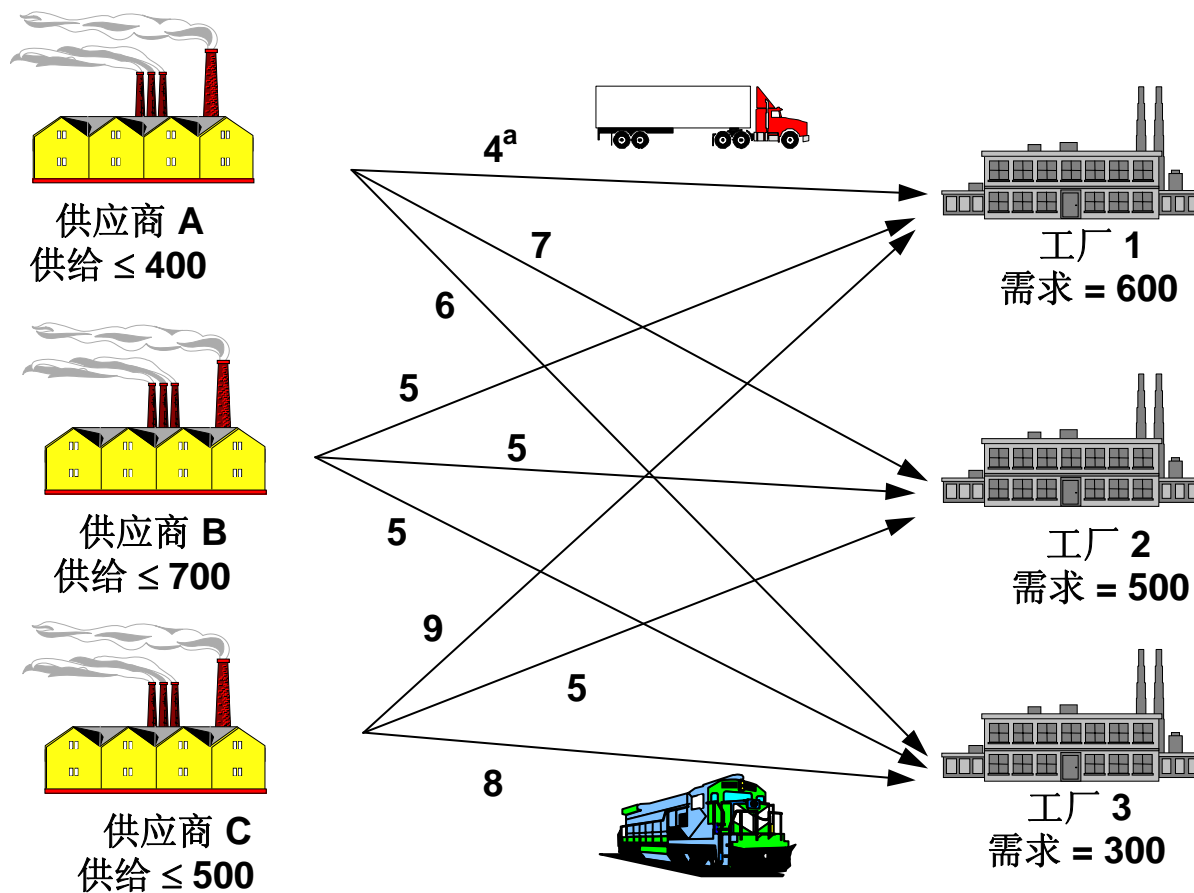
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A	0	90	138	348	999	999	999	999	999	999
B	90	0	66	999	84	999	999	999	999	999
C	138	66	0	156	999	90	999	999	999	999
D	348	999	156	0	999	999	48	999	999	999
E	999	84	999	999	0	120	999	999	84	999
F	999	999	90	999	120	0	132	60	999	999
G	999	999	999	48	999	132	0	48	999	150
H	999	999	999	999	999	60	48	0	132	126
I	999	999	999	999	84	999	999	132	0	126
J	999	999	999	999	999	999	150	126	126	0

$$D_{ij}^k = \text{Min}\{d_{ir}^{k-1} + d_{rj}^{k-1}\} \quad \text{or} \quad D_{ij}^k = \text{Min}\{d_{ij}^{k-1}, d_{ik}^{k-1} + d_{kj}^{k-1}\}$$



# 多起讫点路径问题

解决这类问题可以用特殊的线性规划算法，即运输方法。



<sup>a</sup>供应商A到工厂1之间最优路径的运价单位为：美元/吨

# 问题的描述

	$D_1$	$D_2$	.....	$D_n$	供应量
$S_1$	$C_{11}$	$C_{12}$	...	$C_{1n}$	$S_1$
$S_2$	$C_{21}$	$C_{22}$	...	$C_{2n}$	$S_2$
...	...	...	...	...	...
$S_m$	$C_{m1}$	$C_{m2}$	...	$C_{mn}$	$S_m$
需求量	$d_1$	$d_2$	...	$d_n$	

# 成本最小的线性规划模型

- $m$  生产厂家数;
- $n$  销售中心数;
- 单位运价:  $c_{ij}$ ;
- 生产量:  $s_i$ ;
- 需求量:  $d_j$ ;
- $x_{ij}$  从  $i$  向  $j$  的调运量。

$$\text{Min} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

$$\text{s.t.} \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq s_i \quad (i = 1, 2, \dots, m)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \geq d_j \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

$$x_{ij} \geq 0$$

# 计算例:

- 对于下列问题，确定最佳运输方案。

需求地 生产地	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	生产量
S <sub>1</sub>	25	35	36	60	15
S <sub>2</sub>	55	30	25	25	6
S <sub>3</sub>	40	50	80	90	14
S <sub>4</sub>	30	40	66	75	11
需求量	10	12	15	9	46/46

# 计算例：运输问题

- 最佳运输方案：TC=1835

需求地 生产地	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	生产量
S <sub>1</sub>			15		15
S <sub>2</sub>				6	6
S <sub>3</sub>	2	12			14
S <sub>4</sub>	8			3	11
需求量	10	12	15	9	46/46

# 用软件TRANLP求解

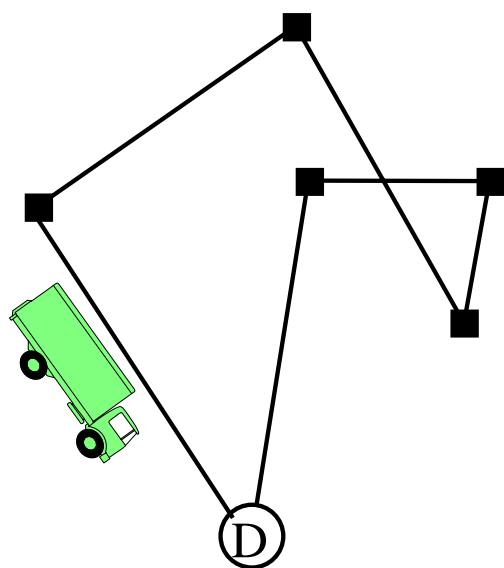
From\To	Plt 1	Plt 2	Plt 3	Supply
Sup A	4	7	6	400
Sup B	5	5	5	700
Sup C	9	5	8	500
Demand	600	500	300	

输出结果:

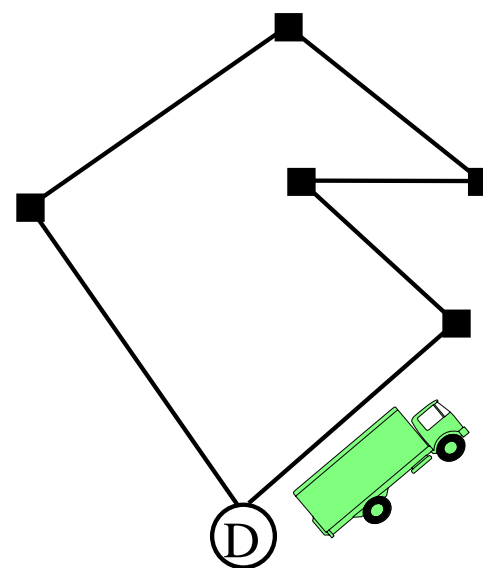
<b>Results</b>		Total cost: <input type="text" value="6600"/>		
From\To	Plt 1	Plt 2	Plt 3	Supply
Sup A	400	0	0	400
Sup B	200	200	300	700
Sup C	0	300	0	500
Demand	600	500	300	

# 起讫点重合的路径问题

- 在只有一个仓库和一辆卡车路径问题中相当普遍。
- 在数学上很难有效解决这个问题。一般情况下：无交叉、呈凸型或水滴状的路径就是一条好的路径。

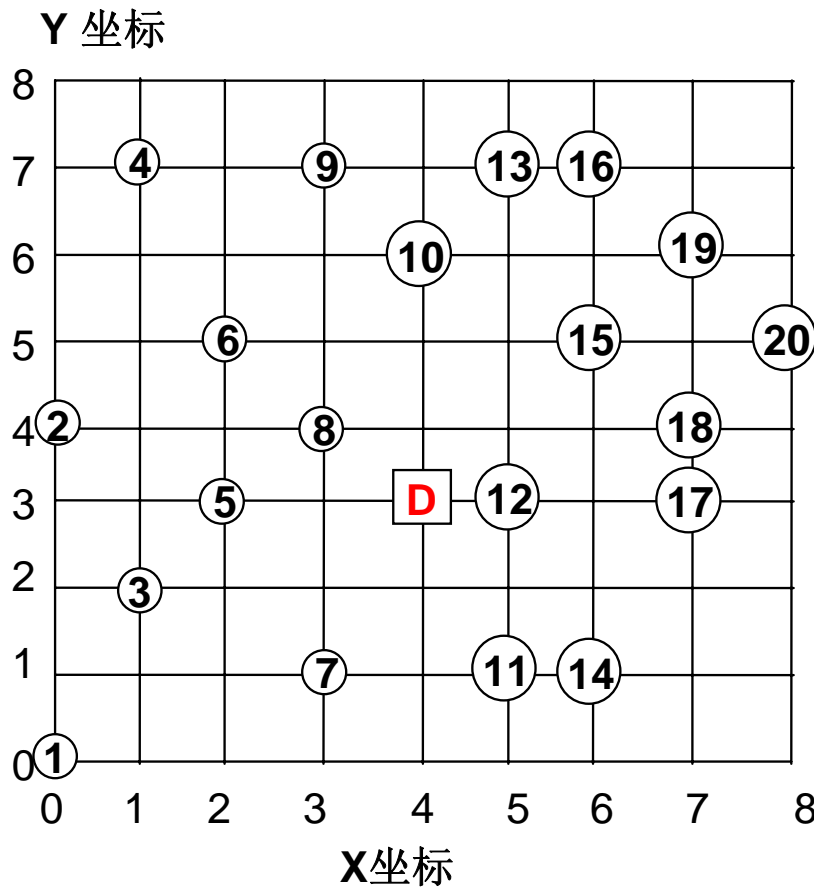


(a) 不好的线路规划-线路交叉

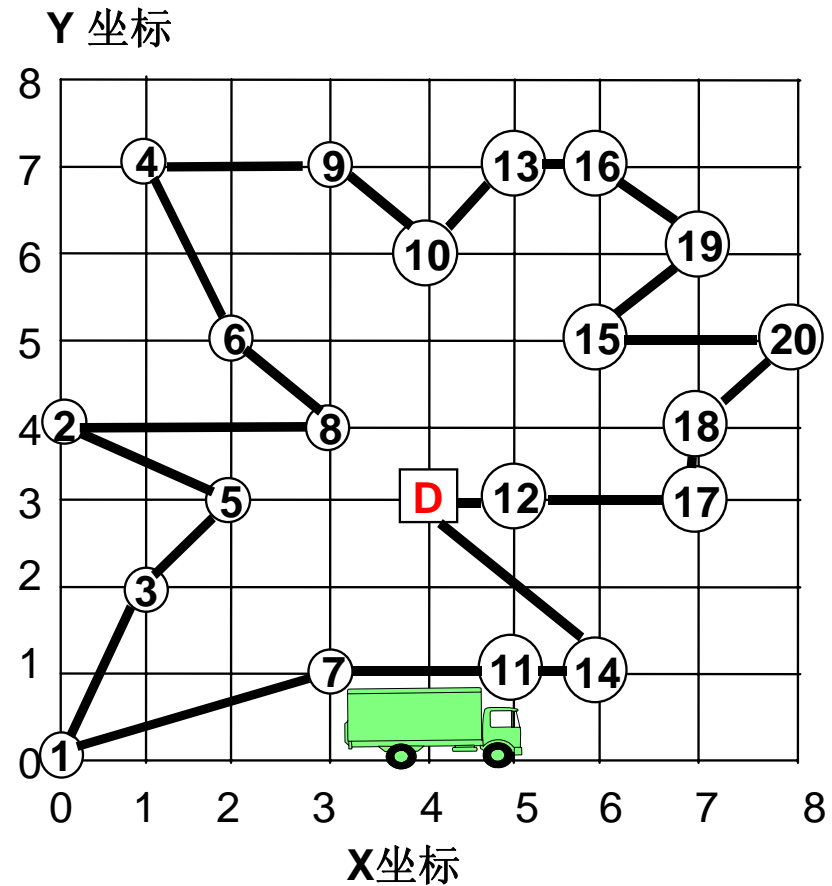


(b) 好的线路规划-线路不交叉

# 由LOGWARE软件包中的ROUTESEQ 模块解得的定义路径



(a) 饮料客户和配送中心所(D)在位置的网络图

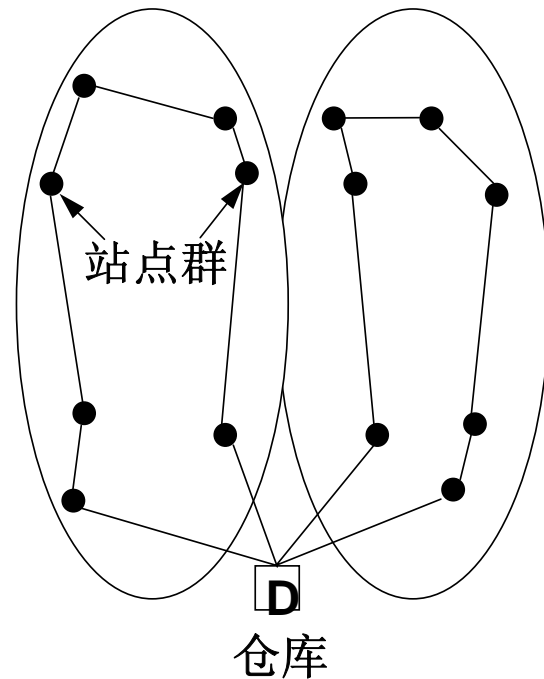


(b) 建议的路径

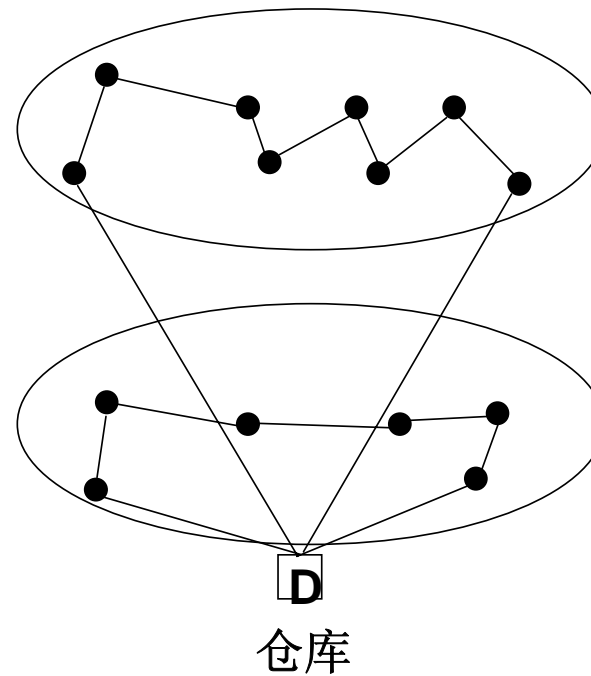


# 合理路线的制定原则

## 1. 安排车辆负责相互距离最接近的站点的货物运输



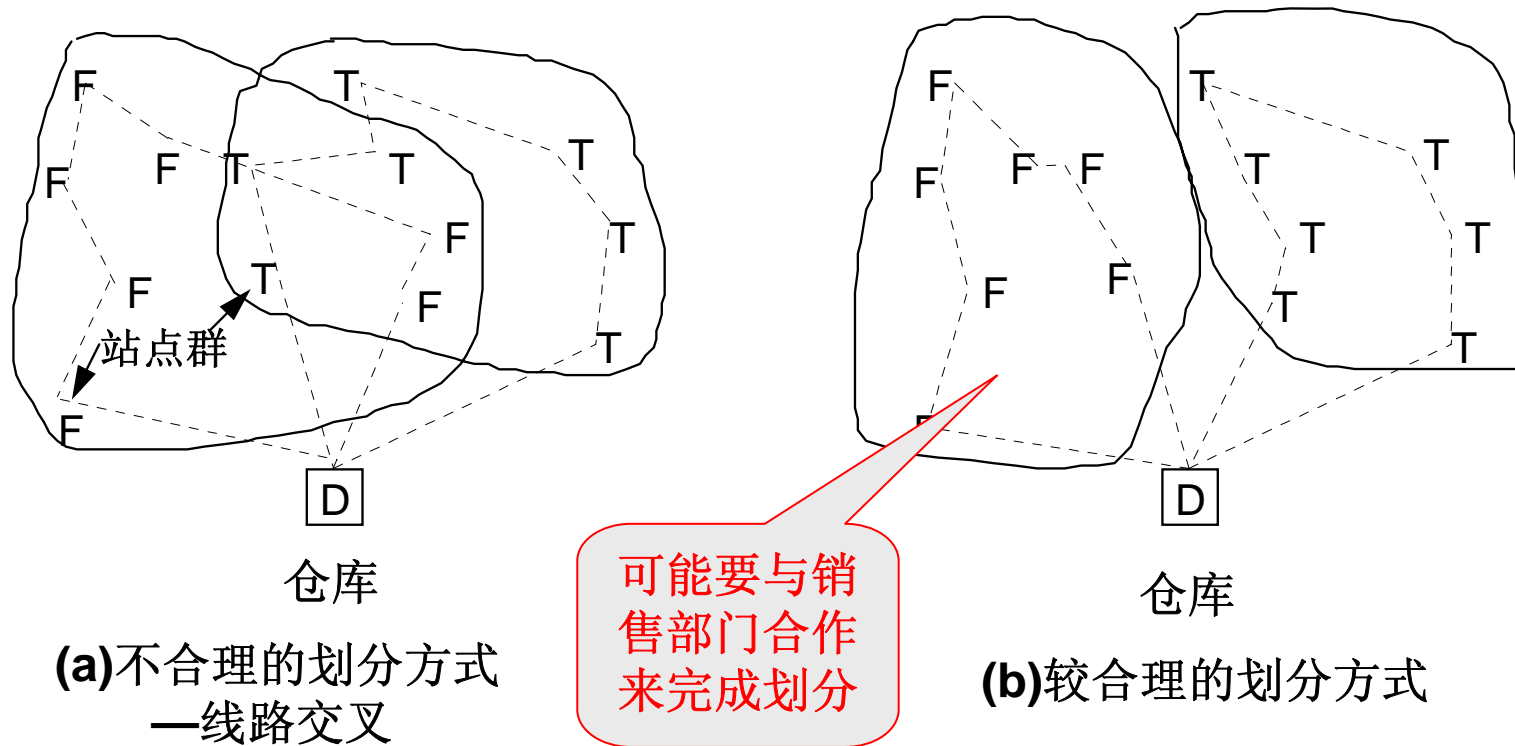
(a) 不合理的划分方式



(b) 较合理的划分方式

# 合理路线的制定原则(续)

2. 安排车辆各日的途经站点时，应注意时站点群更加紧凑



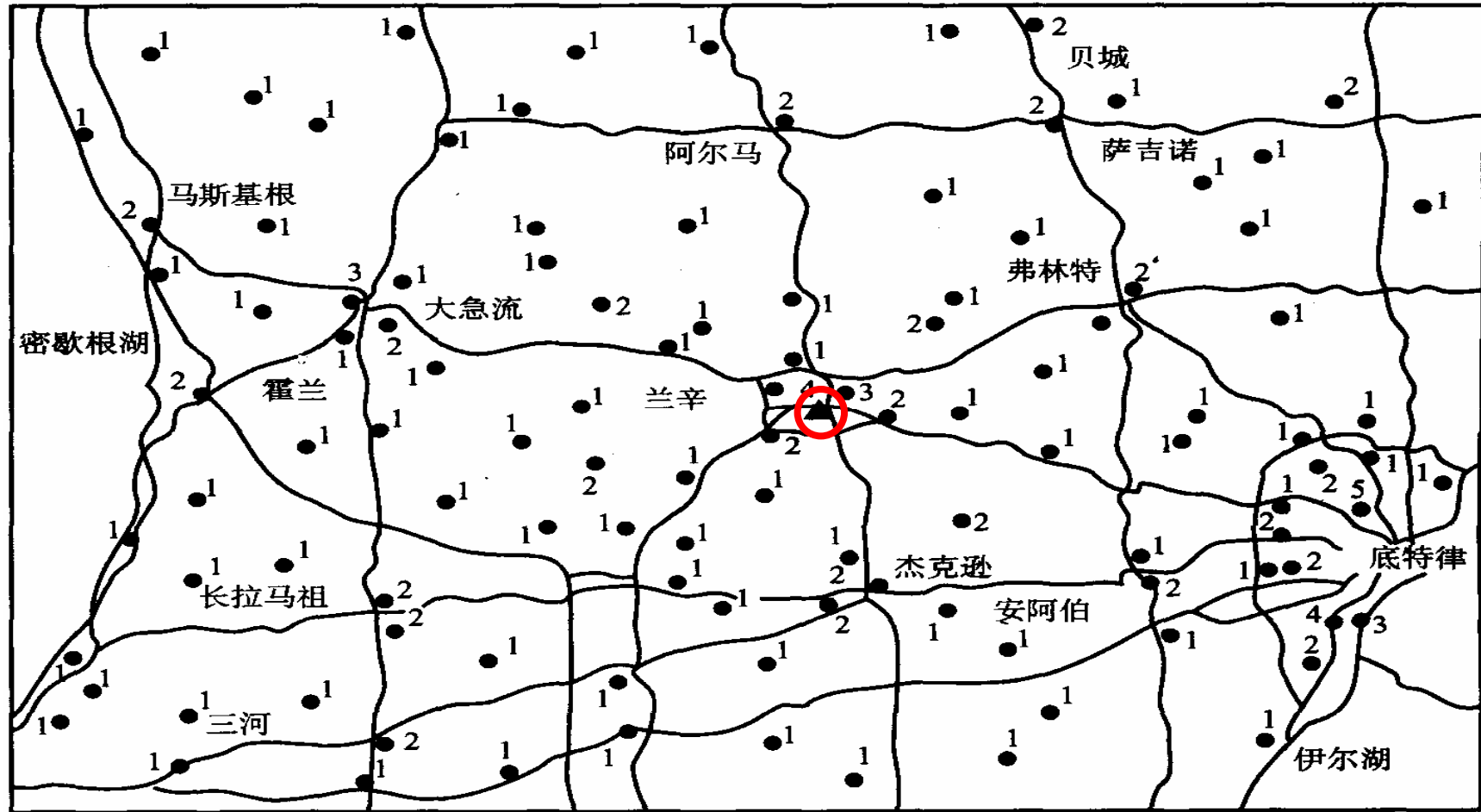
## 合理路线的制定原则(续)

3. 从距仓库最远的站点开始设计线路;
4. 卡车的行车路线应成水滴状(无时间窗口时);
5. 尽可能选用最大的车辆送货, 这样设计出的路线最有效;
6. 取货、送货应混合安排, 不应该在完成全部送货任务之后再取货;
7. 对过于遥远而无法归入群落的站点, 可以采用其他配送方式;
8. 避免时间窗口过短, 最好放宽该限制。

# 例：寿材公司分拨网络的应用

- 凯斯寿材公司生产一系列殡葬产品，并向各殡仪馆送货。殡仪馆会保存少量流行样式的库存，但顾客常常从产品目录中进行选择。通常，殡仪馆的经理会订购棺木以补充存货或满足顾客的特殊要求。订货量常常很小，经常一次不超过一个。
- 为服务市场，凯斯公司在全美建了 **50** 多家配送仓库。下图列出了其中一家仓库的位置及其服务区域，同时还列出了有代表性的一周订货量和订货点的位置。仓库使用两辆特制的卡车送货，该种卡车最多可运送 **18** 副棺木，每周送货五天。试制定该地区的行车路线和时刻表。

# 例：寿材公司分拨网络的应用



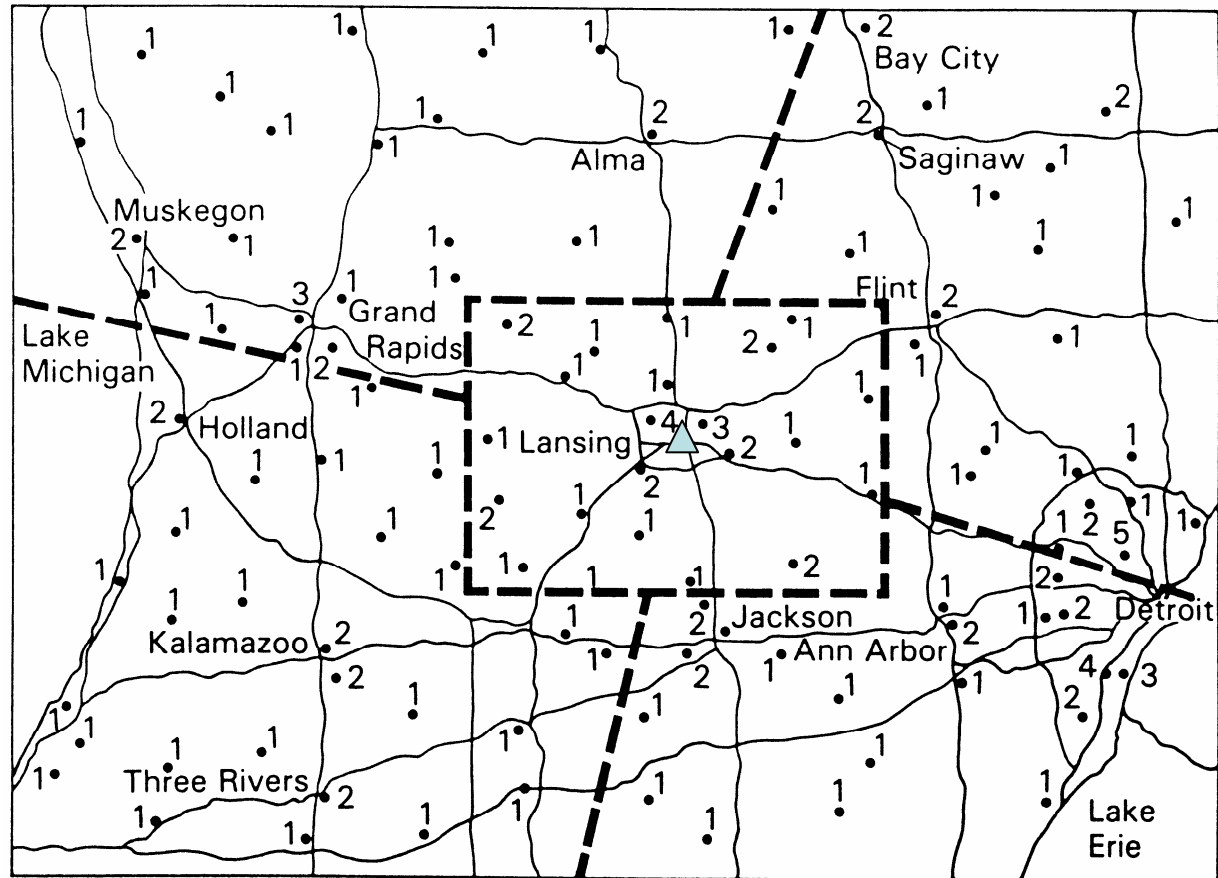
▲ 仓库

● 殡仪馆

# 例：寿材公司分拨网络的应用

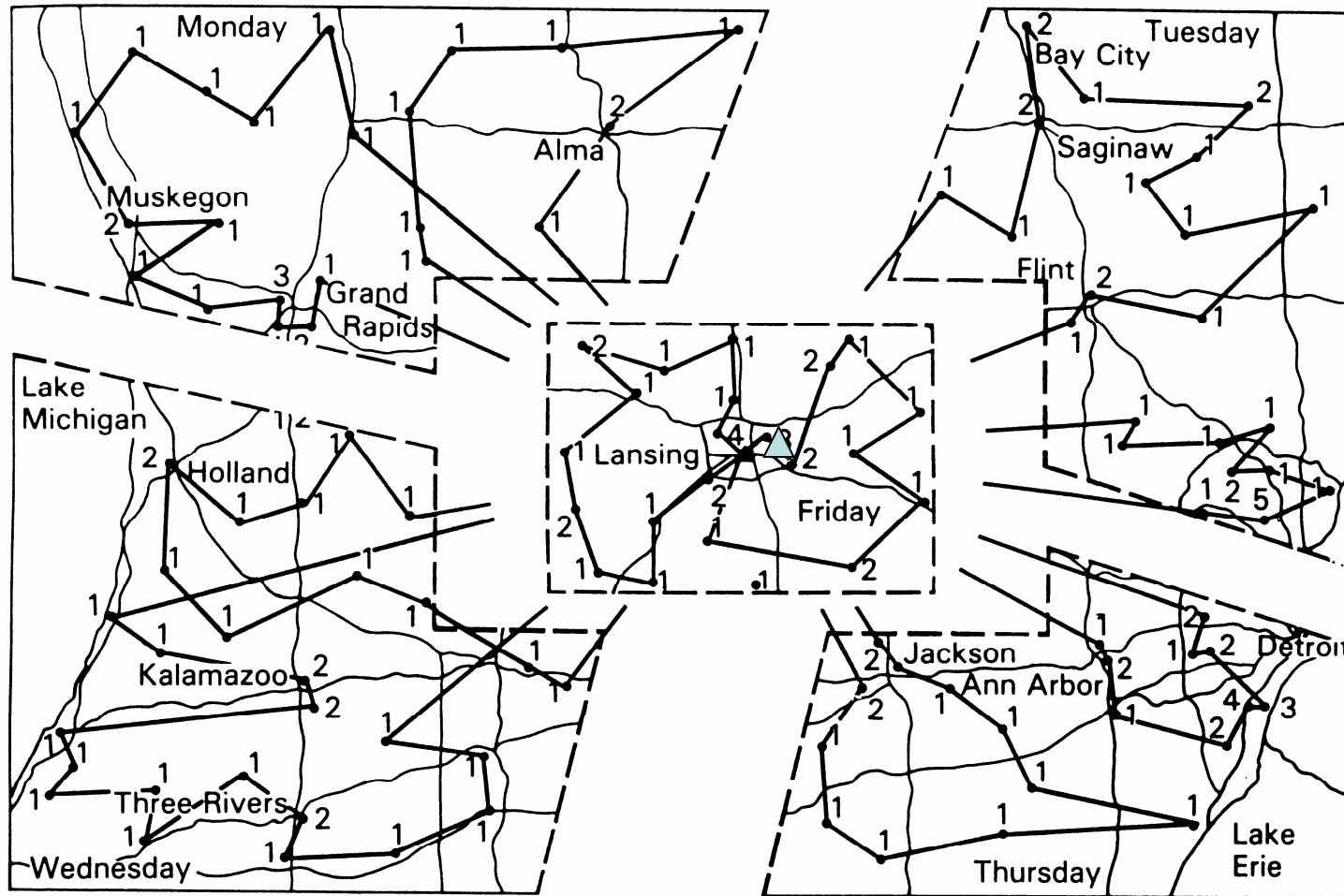
将这一地区分成  
送货量大致相等  
(大致等于卡车  
装载量)的站点  
群，从而将卡车  
数量降到最低

- ▲ 仓库
- 殡仪馆



对销售区按一周的五天划分群组

# 例：寿材公司分拨网络的应用



- △ 仓库
- 殡仪馆

区域内的路线设计

# 扫描法(Sweep Method)

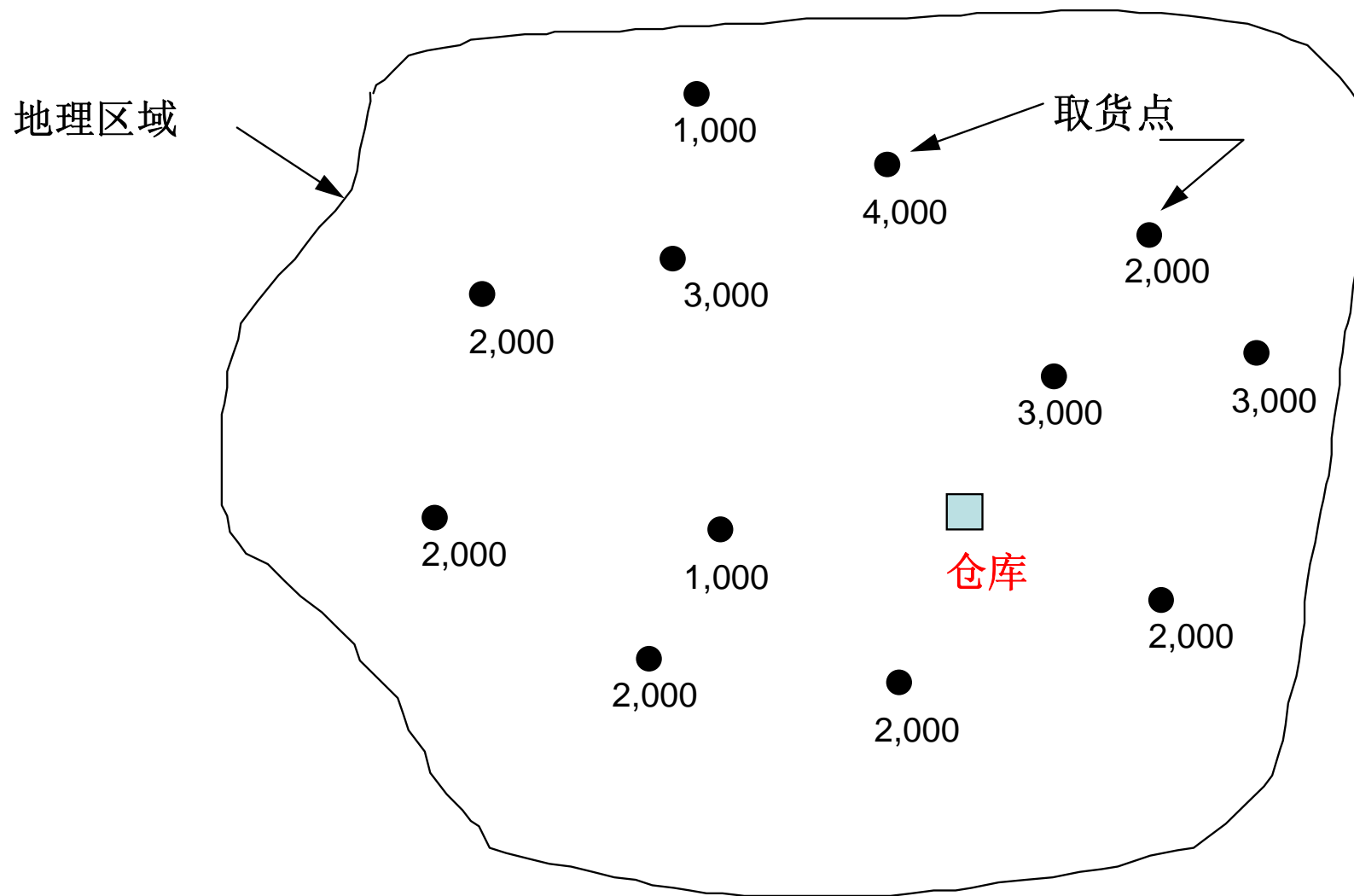
- 在地图或方格图中确定所有站点(含仓库)的位置;
- 自仓库始沿任一方向向外划一条直线。沿顺时针或逆时针方向旋转该直线直到与某站点相交:
  - 如果在某线路上增加该站点,是否会超过车辆的载货能力?如果没有,继续旋转直线,直到与下一个站点相交。再次计算累计货运量是否超过车辆的运载能力(先使用最大的车辆)。如果超过,就剔除最后的那个站点,并确定路线。
- 从不包含在上一路线中的站点开始,继续旋转直线以寻找新路线。继续该过程直到所有的站点都被安排到路线中;
- 排定各路线上每个站点的顺序使行车距离最短。排序时可以使用“水滴”法或求解“流动推销员”问题的任何算法



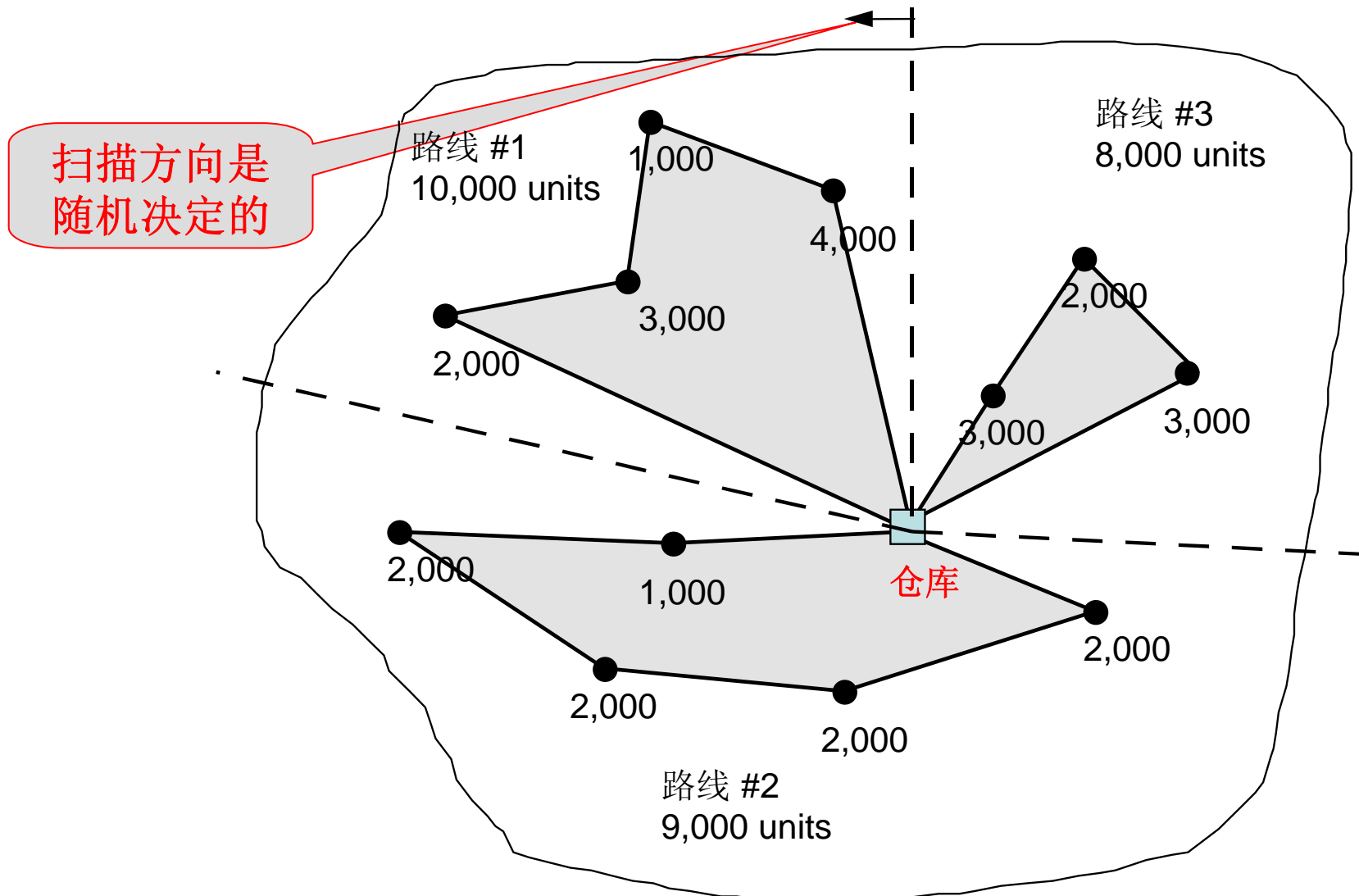
## 例：扫描法

- 某卡车公司用装载量为**10,000**单位的箱式货车到取货点取货，先将这些货物运到仓库，在仓库拼车，以便长途运输。下表显示的是每天取货量。为使总运输距离最短，应该如何设计运输线路？

# 例：取货点的日取货量和所在位置



# 例：扫描法的解



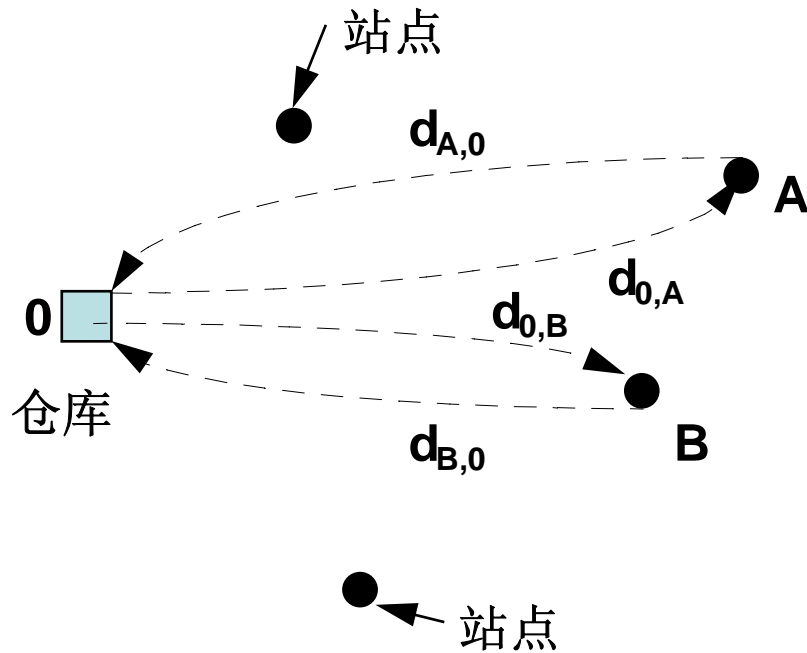
# 扫描法(Sweep Method)

- 路线设计中的扫描法很简单，即使问题规模很大，也可以通过手工计算得出结果。如果利用计算机程序计算，能够很快求出结果，所需的计算机内存也不大。对于各类问题，该方法的平均误差率预计约在10%。
- 求解过程分为两步：第一步是分派车辆服务的站点；第二步是决定行车路线。
- 因为整个过程分成两步，所以对诸如在途总运行时间和时间窗口等时间问题处理的不好。

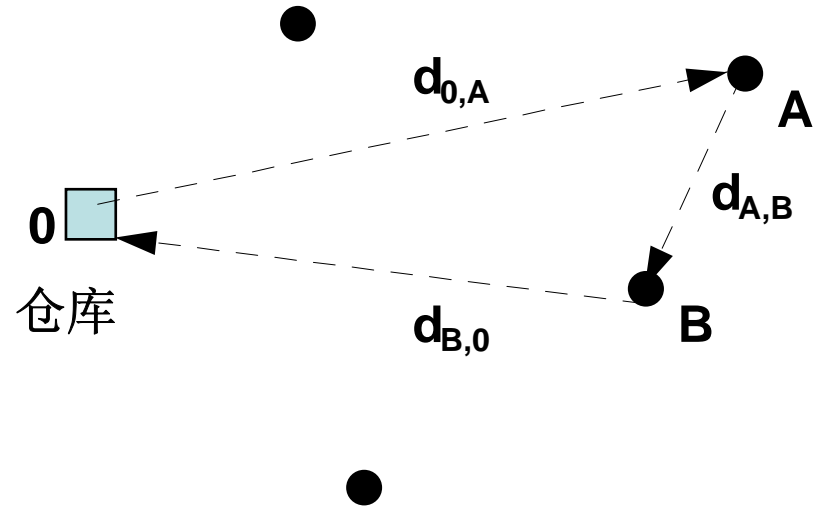
# 节约法(Savings Method)

- 节约法的目标是使所有车辆行驶的总里程最短，并进而使为所有站点提供服务的卡车数量最少。
- 该方法首先假设每一个站点都有一辆虚拟的卡车提供服务，随后返回仓库，这时的路线里程是最长的。
- 下一步，将两个站点合并到同一条行车路线上，减少一辆运输车，相应地缩短路线里程。在决定哪些站点要合并到一条路线时，需要计算合并前后节约的运输距离。
- 对每对站点都进行这样的计算，并选择节约距离最多的一对站点合并在一起。

# 节约法(Savings Method)



(a) 初始路线 — 线路里程  
 $=d_{0,A}+d_{A,0}+d_{0,B}+d_{B,0}$



(b) 将两个站点合并到同一线路 —  
运输里程  $=d_{0,A}+d_{A,B}+d_{B,0}$

# 节约法小节

- 站点合并时，产生最大节约的点是**离仓库最远的点**和**相互距离最近的点**；
- 节约法是制定多站点运输线路的有效方法，对站点数不太多的问题，能较快地算出结果；
- 节约法优于扫描法——对约束条件不多的小问题，**节约法的平均误差仅比最有解高2%**。

# 车辆路线与时刻表的制定

## Multi-Vehicle Routing and Scheduling

- 类似于单车辆路径问题，只是多了一些限制
- 主要的限制有：
  - 使用多部车辆，每部车的容量各不相同；
  - 每个站点每天只允许在特定时间内取货送货-即时间窗口(**Time Windows**)；
  - 在每个站点既要取货，又要送货；
  - 司机的总驾驶时间有上限。



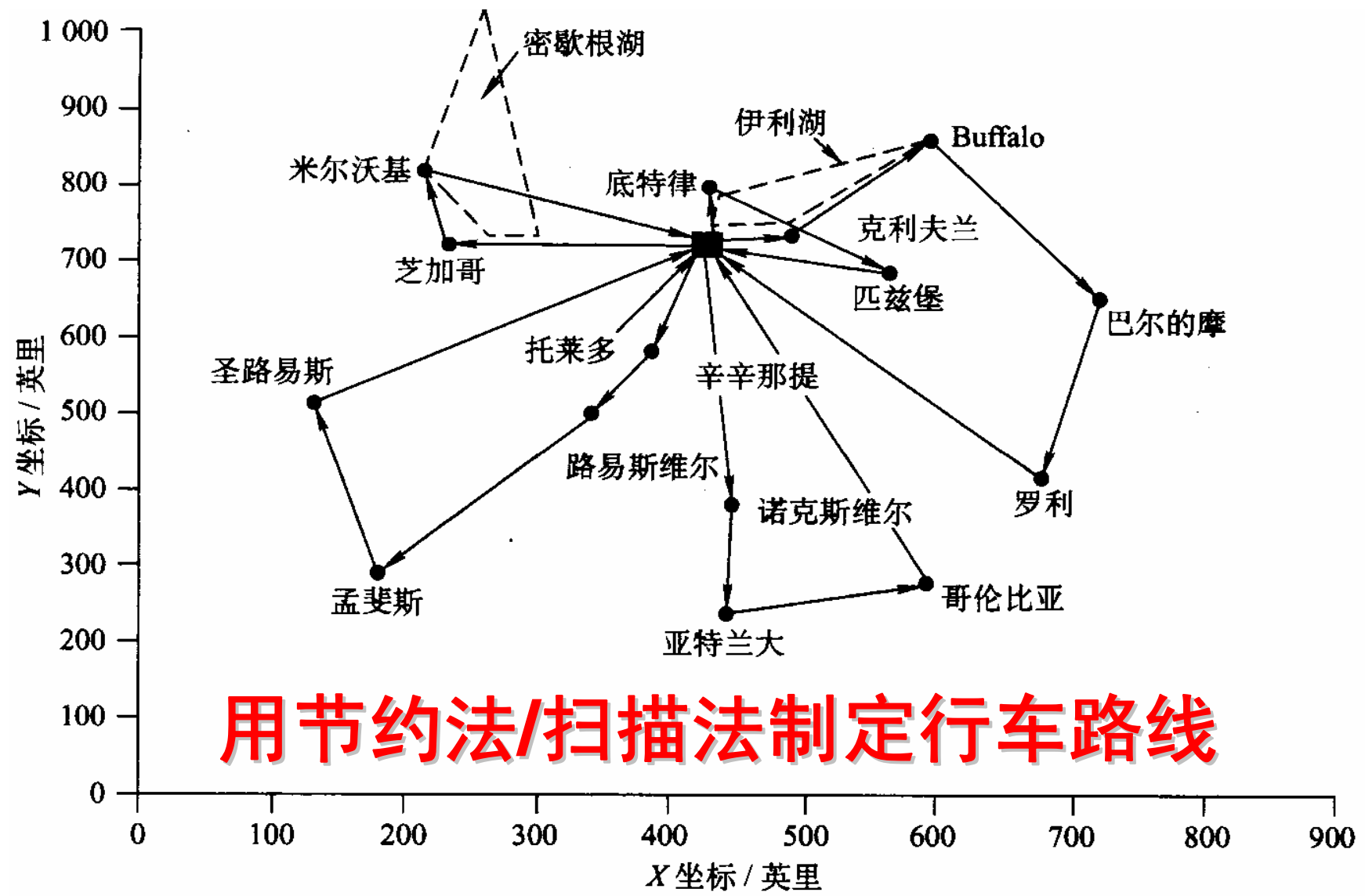
# 例：行车路线与时刻表的制定

- 瑞格尔金属公司(Regal Metals)生产商用楼卫生间用的钢制隔板。位于俄亥俄州托莱多(Toledo)的工厂( $x = 460$ ,  $Y = 720$ )将订单货物累积起来每周向各建筑工地送货一次。工厂拥有 5 辆载重 40000 磅的卡车。
- 车辆调度原则：本周所有的订货要一次性发出；托莱多的发车时间不能早于早 7:00；不能超过卡车的载货能力；所有的卡车都必须返回到托莱多的工厂；送货时间为 7:00-18:00 之间；驾驶员在中午 12:00 以后有一小时的午餐时间，晚 7:00 以后有一整晚 12 小时的休息时间。
- 卡车平均车速为每小时 50 英里，各站点的卸货时间为 30 分钟。据估计，公路里程要比用坐标计算的直线距离长 21%。该公司某一周的送货情况如下：

# 例：行车路线与时刻表的制定(续)

工地序号	工地名称	X 坐标	Y 坐标	定货量(lb.)
1	米尔沃基, 威斯康州	220	800	3000
2	芝加哥, 伊利诺斯州	240	720	31500
3	底特律, 密执安州	470	790	16500
4	布法罗, 纽约州	670	860	6000
5	克利夫兰, 俄亥俄州	540	730	4500
6	匹兹堡, 宾西法尼亚州	630	680	6750
7	辛辛那提, 俄亥俄州	420	570	3750
8	路易斯维尔, 肯塔基州	370	490	6000
9	圣路易斯, 蒙大弯州	130	500	7500
10	孟斐斯, 田纳西州	180	270	9000
11	诺克斯维尔, 田纳西州	480	360	5250
12	亚特兰大, 佐治亚州	480	210	18000
13	哥伦比亚, 北卡罗来纳州	660	250	3000
14	罗利, 北卡罗来纳州	760	390	6750
15	巴尔的摩, 马里兰州	810	640	11250
合计				138750

# 例：行车路线与时刻表的制定(续)



# 例：行车路线与时刻表的制定

路 线	站 点 <sup>①</sup>	时 间			路 程 (英里)	运行时间 (小时)	运 载 量 (磅)	卡 车 载 重 量 (磅)	
		出发	日期	返回					日期
1	2、1	7:00AM	1	1:44PM	2	787	30.7	34 500	40 000
2	3、6	7:00AM	1	9:11AM	2	609	26.2	23 250	40 000
3	5、4、15、14	7:00AM	1	5:03PM	3	1 503	58.1	28 500	40 000
4	7、8、10、9	7:00AM	1	3:22PM	3	1 418	56.4	26 250	40 000
5	11、12、13	7:00AM	1	3:40PM	3	1 459	56.7	26 250	40 000
						5 776	228.1	138 750	

① 站点按其在配送中的顺序排列。

# 例：行车路线与时刻表的制定

---

站 点	到达时间	日 期	站 点	到达时间	日期
米尔沃基	3:49PM	1	圣路易斯	5:16PM	2
芝加哥	1:19PM	1	孟斐斯	9:28AM	2
底特律	8:47AM	1	诺克斯维尔	4:43PM	1
布法罗	3:17PM	1	亚特兰大	8:51AM	2
克利夫兰	8:57AM	1	哥伦比亚	2:49PM	2
匹兹堡	4:27PM	1	罗利	5:46PM	2
辛辛那提	1:045AM	1	巴尔的摩	10:05AM	2
路易斯维尔	2:32PM	1			

---

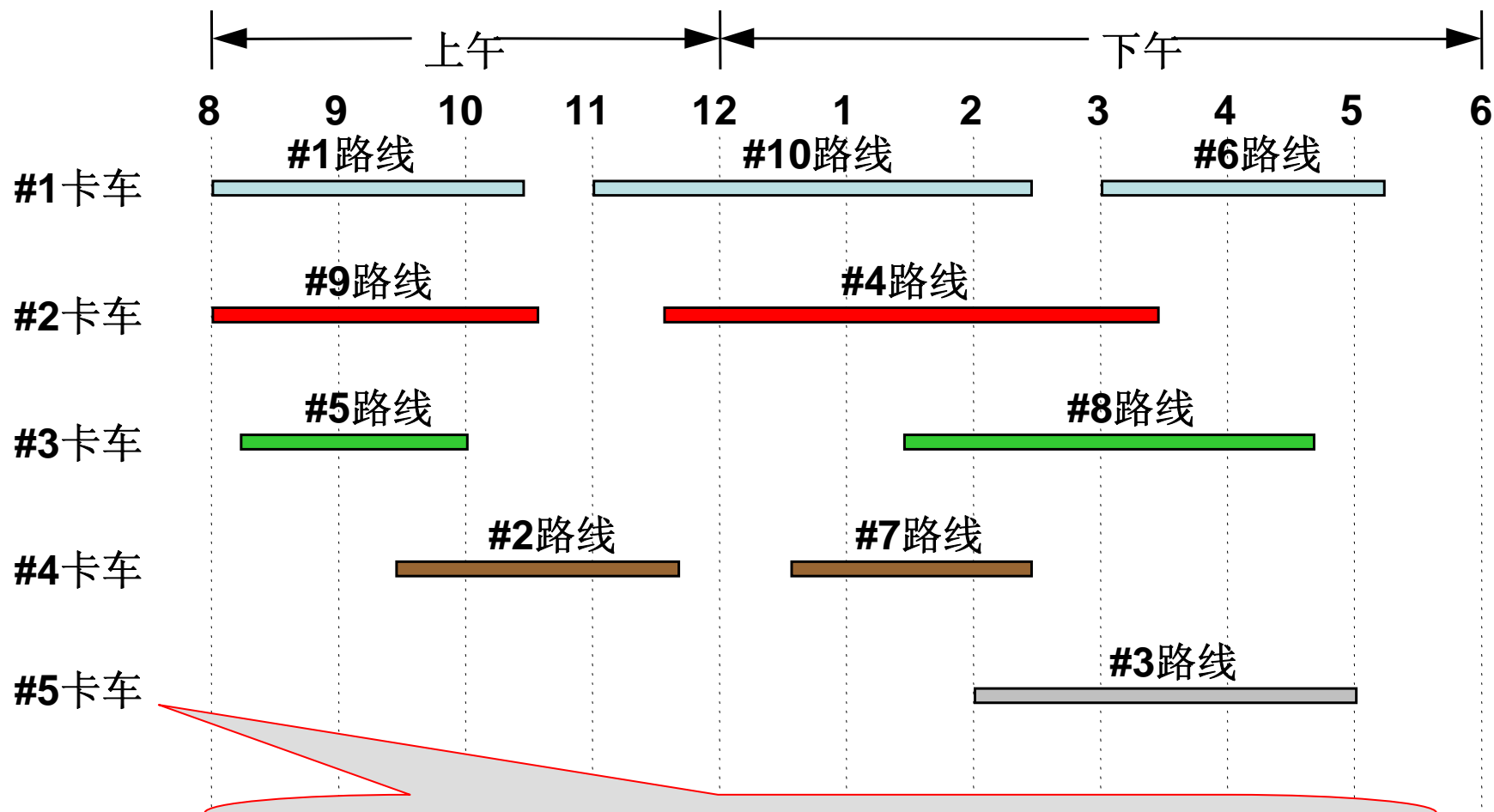
# 运输路线的排序(Route Sequencing)

- 在利用行车路线和时刻表的制定方法指定路线时，假设对每条线路都只分派一部车，如果路线较短，那么在剩余的时间里这部车的利用率就很低。但在实际生活中，如果完成一条路线后开始另一条路线，那么就可以分派同一部车负责第二条路线。
- 将所有运输路线首尾相连按顺序排列，使车辆的空闲时间最短，就可以决定所需车辆数。

# 例：运输路线的排序

路 线	发车时间	返回时间
1	8:00AM	10:25AM
2	9:30AM	11:45AM
3	2:00PM	4:53PM
4	11:31AM	3:21PM
5	8:12AM	9:52AM
6	3:03PM	5:13PM
7	12:24PM	2:22PM
8	1:33PM	4:43PM
9	8:00AM	10:34AM
10	10:56AM	2:25PM

# 例：运输路线的排序



通过最大化每辆卡车运输的路线数量来最小化卡车数量



# 合并运输

- 将小批量货物合并成大批量货物；
- 需要平衡成本的节省与客户服务水平的高低；
- 是许多企业成本降低的重要源泉；
- 确定基于租赁车辆的运价与运货量之间的关系。

# 合并运输分析

- 假设从沃思堡到以下各地有连续三天的订单：

沃思堡	第1天	第2天	第3天
托皮卡	5,000 磅	25,000 磅	18,000 磅
堪萨斯城	7,000	12,000	21,000
威奇托	42,000	38,000	61,000

可以每天发货，也可以将其合并成一次运输。现假设运价已知，可以在州际价目表中查得。

# 合并运输分析(续)

沃思堡		第1天	第2天	第3天	合计
托皮卡	订单量	50	250	180	<b>480</b>
	运价	3.42	1.14	1.36	
	运费	171.00	285.00	244.80	<b>700.80</b>
堪萨斯城	订单量	70	120	210	<b>400</b>
	运价	3.6	1.44	1.2	
	运费	252.00	172.80	252.00	<b>676.80</b>
威奇托	订单量	420	380	610	<b>1410</b>
	运价	0.68	0.68	0.68	
	运费	285.60	258.40	414.80	<b>958.80</b>

总计: **2336.4**

# 合并运输分析(续)

**合并运输：** 将三天订单集中，于第三天发送的运输成本：

**运价 x 运量 = 运输成本**

托皮卡             $0.82 \times 480 = \$393.60$

堪萨斯城         $0.86 \times 400 = 344.00$

威奇托            $0.68 \times 1410 = \underline{958.80}$

Total: **\$1,696.40**

成本更低了，但同时早期订单为等待整车运输而拖延了更长的时间，从而影响了服务水平。