

新顺洋物流有限公司 2021-2022 年招标项目活动安排及 优化分析

摘要 (Abstract)：经济和科技信息技术的快速发展，市场日趋完善，只要把握好物流这一环节就等于掌握了一个地区的发展命脉。电子信息时代，信息发达，各地的市场竞争就是时间竞争，快速稳定高效完成客户的服务就是立足于行业的基本企业目标。创建企业涉及仓储、包装、运输、货运代理、物流方案设计、货物运输、保险代理、外包承接等服务。公司物流可发往全国的每个省会及主要城市，并且采用多功能、多元化、多体制的运作方式，具备全面的硬件和软件设施，以及配套的物流操作程序，运用先进的物流管理系统，为客户提供仓储、分拣、包装、运输、配送等一站式服务。为客户提供优质满意的 24 小时门到门服务。公司以“一带一路”核心关键城市西安为中心，业务范围辐射全国，助力“一带一路”的发展契机可以拥有更广阔的国内外市场的信息，抓住时代发展的红利。2021 年至今，公司参与多项大型物流项目招标，取得令人欣喜的成绩，成功拿下多个招标项目，例如集装箱短驳运输服务供应商采购项目，杨凌美畅新材料股份有限公司 2022 年度整车运输项目等。这些项目的中标拓宽了公司的市场，使公司发展更上一层楼。这离不开对项目时间和各个环节的把控。

关键词 (Key Words)：招标项目，项目环节把控

1.引言

中国物流发展到现在，一路在变革中前行，特别是十九大以后，物流行业的数字化变革速度加快，智慧物流、平台经济等新业态的兴起，让越来越多的物流企业面临着解组重构的重大调整。我们的经济社会环境发生了变化。经济发展的社会特征反映在物流层面上，就是对物流需求的服务质量越来越高，对物流时效需求越来越快。社会基础设施发生了变革。现代社会的基础设施有了重大变化，最主要特征就是互联网成为了社会基础设施。随着互联网的“天网”不断下沉，物流作为支撑商贸流通和制造业的基础设施，也要在新的基础上重构，发展新物流。现代物流技术支撑体系的变革。网络货运平台型企业，互联网、大数据、5G、云计算、区块链等新技术的应用，是现代物流业变革的技术支撑。基于上述现代物流行业发展背景的变化，物流业也将朝着更加标准化的发展方向迈进，市场也将更加广阔。新顺洋物流有限公司立足于快递物流行业，紧跟时代发展步伐和政策支持，并在行业内进行深耕。

2. 案例背景及现实问题

集装箱短驳运输服务供应商采购项目案例背景：

疫情使得航空运输和陆路运输受到严重的影响，海运以其自身独特的优势，在运输交通中异军突起，海运的突起造成港口及铁路集装箱堆积陆路运输力量短缺，时间短任务重需要尽快解决这个问题。新顺洋物流有限公司参与积极参与此招标项目并中标。

现实问题：招标每个环节时间设置明确，需要公司在短时间内完成招标所需要准备所有任务，及配套服务商选择的问题，具有很大的挑战。

杨凌美畅新材料股份有限公司 2022 年度整车运输项目案例背景：

杨凌美畅新材料股份有限公司是一家主要从事电镀金刚石线及其他金刚石超硬工具研发、生产、销售的高科技创新型企业，金刚石线年产能达 4500 万公里，是目前全球生产规模最大、市场份额领先的金刚石线生产企业。2018 年入选中国独角兽企业，成为陕西省首家独角兽企业。2020 年 8 月 24 日在深圳证券交易所创业板上市，是创业板注册制改革后首批首发企业。因企业从事业务的特殊性 & 行业影响力，所以对运输业务的供应商招标非常的严格。招标竞争对手众多，需要公司准备的招标资料繁多，同时还面对各种不确定的因素。

现实问题：招标公司为新上市公司各项制度还未完全完善，对于招标项目的各个活动时间无法给出明确的安排，竞争对手众多，新顺洋物流也面临巨大的挑战。

3. 研究目标与分析模型

本次作业就新顺洋物流有限公司 2021-2022 年招标项目展开广泛分析与探讨。基于公司的招标流程及招标项目的时间安排，用于案例研讨数据、选择对应的模型与决策进行相应的分析，特别适合项目安排：活动时间确定或不确定下的活动安排；时间与成本抉择分析的讨论与研究。利用 PERT/CPM 关键路径来进行集装箱短驳运输服务供应商采购项目的项目各个环节确定活动时间的安排。利用 β 分布假设来

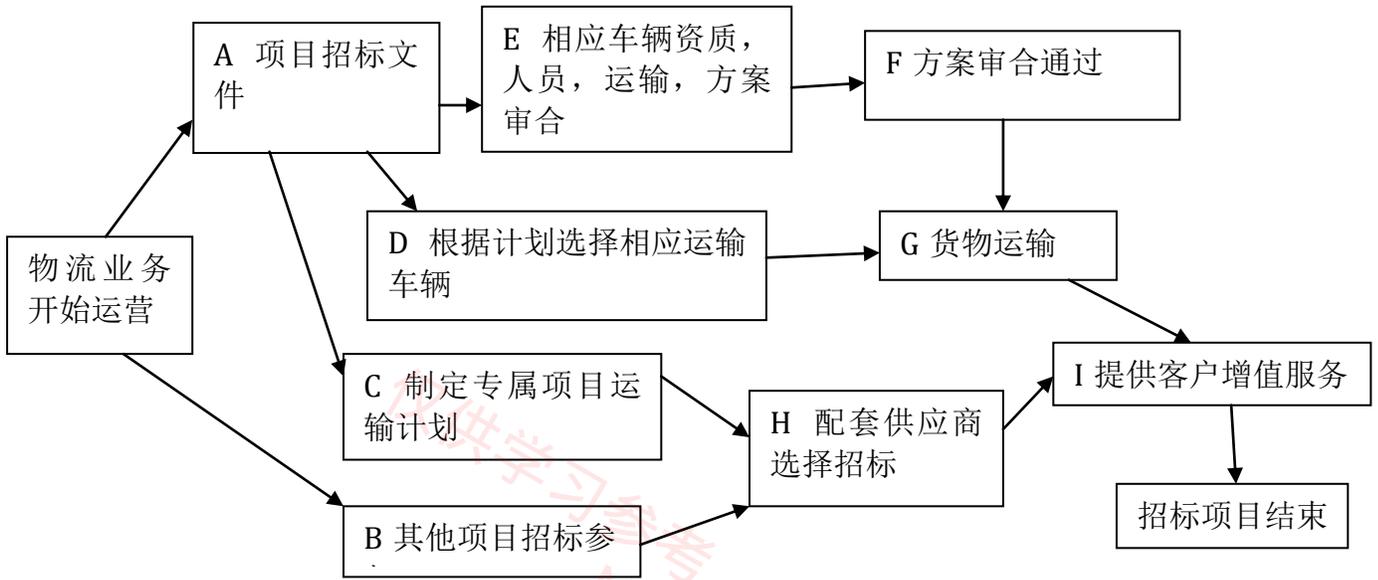
研究分析杨凌美畅新材料股份有限公司 2022 年度整车运输项目中不确定活动的
时间安排。

4.数据获取与统计分析

1.活动时间已知项目安排：【以集装箱短驳运输服务供应商采购项目为案例】

活动 代码	活动内容	紧前 活动	活动 时间 (周)
A	项目招标文件	—	5
B	其他项目招标参与	—	6
C	制定专属项目运输计划	A	2
D	根据项目选择相应运输车辆	A	2
E	相应车辆资质，人员，运输方案 审合	A	1
F	方案审合通过	E	2
G	货物运输	D, F	3
H	配套供应商选择招标	B, C	3
I	提供客户配套增值服务	G, H	2
合计	—	—	26

表一



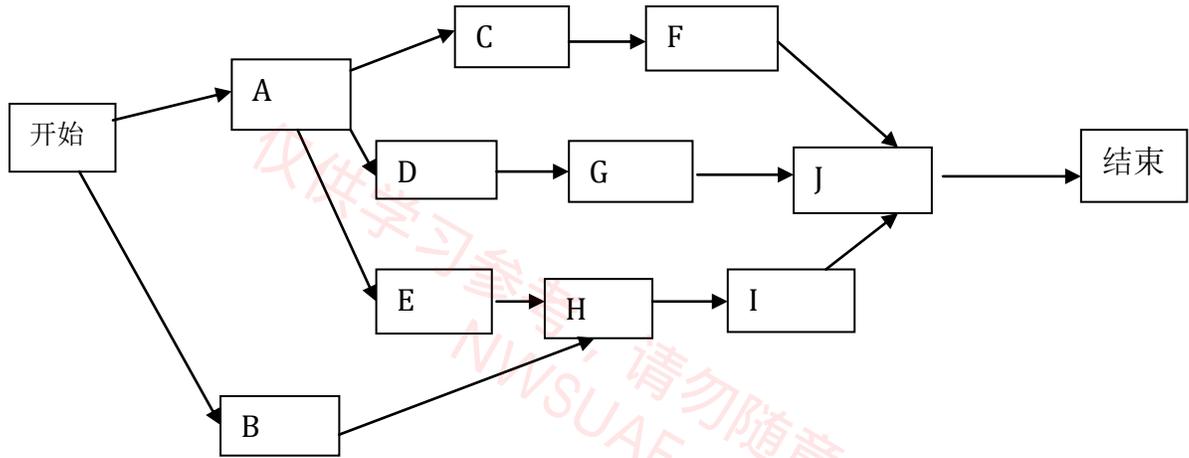
2.活动时间不确定的项目安排：【以杨凌美畅新材料股份有限公司 2022 年度整车运输项目为案例】

活动代码	活动内容	紧前活动
A	投标前期工作	—
B	购买资格预审文件，编制资格预审申请	—
C	报送资格预审文件，获得投标邀书	A
D	购买招标文件，精读分析招标文件	A
E	踏勘现场，参与招标前会，编制投标文件	A
F	报送投标文件，交投标保证金保函	C
G	参与开标会，明白竞争对手情形	D
H	书面答复招标人及评审委员会询问，参与澄清会	B, E
I	获得中标通知书，参与合同前谈判	H

J	交履约担保，签订合同	F, G, I
---	------------	---------

表二

网络中的节点（方形矩阵）代表每项活动，弧（箭头线）代表各项活动之间的优先顺序。

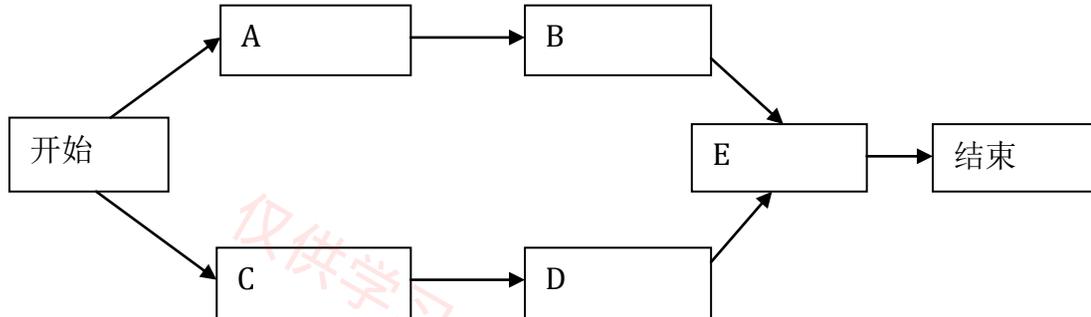


3.时间与成本抉择：【以杨凌美畅新材料股份有限公司 2022 年度整车运输项目为案例】

活动代码	活动内容	紧前活动	活动时间 (周)
A	检修特殊品运输 A 型车辆	—	7
B	车辆性能测试 1	A	3
C	检修特殊品运输 B 型车辆	—	6
D	车辆性能测试 2	C	3
E	车辆试运输	B, C	2
合计	—	—	21

表三

网络中的节点（方形框）代表每项活动，弧（箭头线）代表各项活动之间的优先顺序。



5.模型求解过程与结论

1.活动时间已知项目求解与结论:

【以集装箱短驳运输服务供应商采购项目为案例】

每个节点上方的单元格中都会写出给了该活动的字母代码，其下方单元格中列出了完成活动需要的时间。

最长路径上的活动被延误，那么整个活动完成时间会被延误，因此，最长路径即为关键路径，关键路径上的活动称为项目的关键活动。

最早的开始时间：ES；最早的完成时间：EF；活动时间 t 。

最早的完成时间： $EF=ES+t$

每项活动的最早开始时间 ES 等于它所有紧前活动的最早完成时间 EF 最大值。

最晚开始时间 LS；最晚完成时间 LF， $LS=最晚完成时间-活动时间$ ；

最晚完成时间 LF=紧后活动最晚开始时间的最小值。

松弛（slack）：是指延误某项活动的活动时间，而又不影响项目整体完工时间的时长长度。

$slack=LS-ES=LF-EF$

现在开始倒推，活动 C， $slackC = LS - ES = 6 - 5 = 1$ 或者 $LS - ES = 8 - 7 = 1$

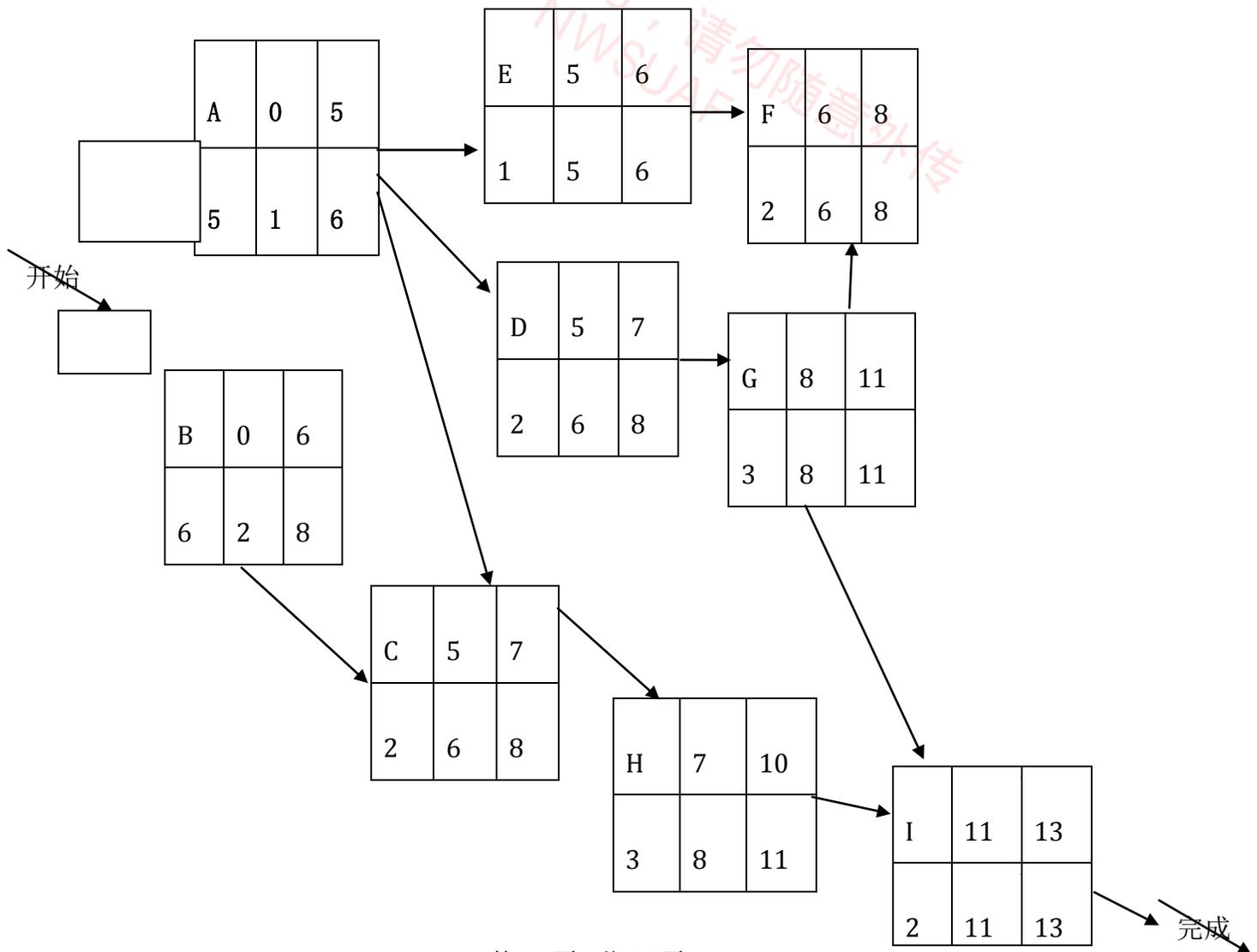
活动 C 可以最多延误 1 周完成，而又不影响整个项目完成时间，从这个角度看，活动 C 对整个项目是否完成并不是那么重要。

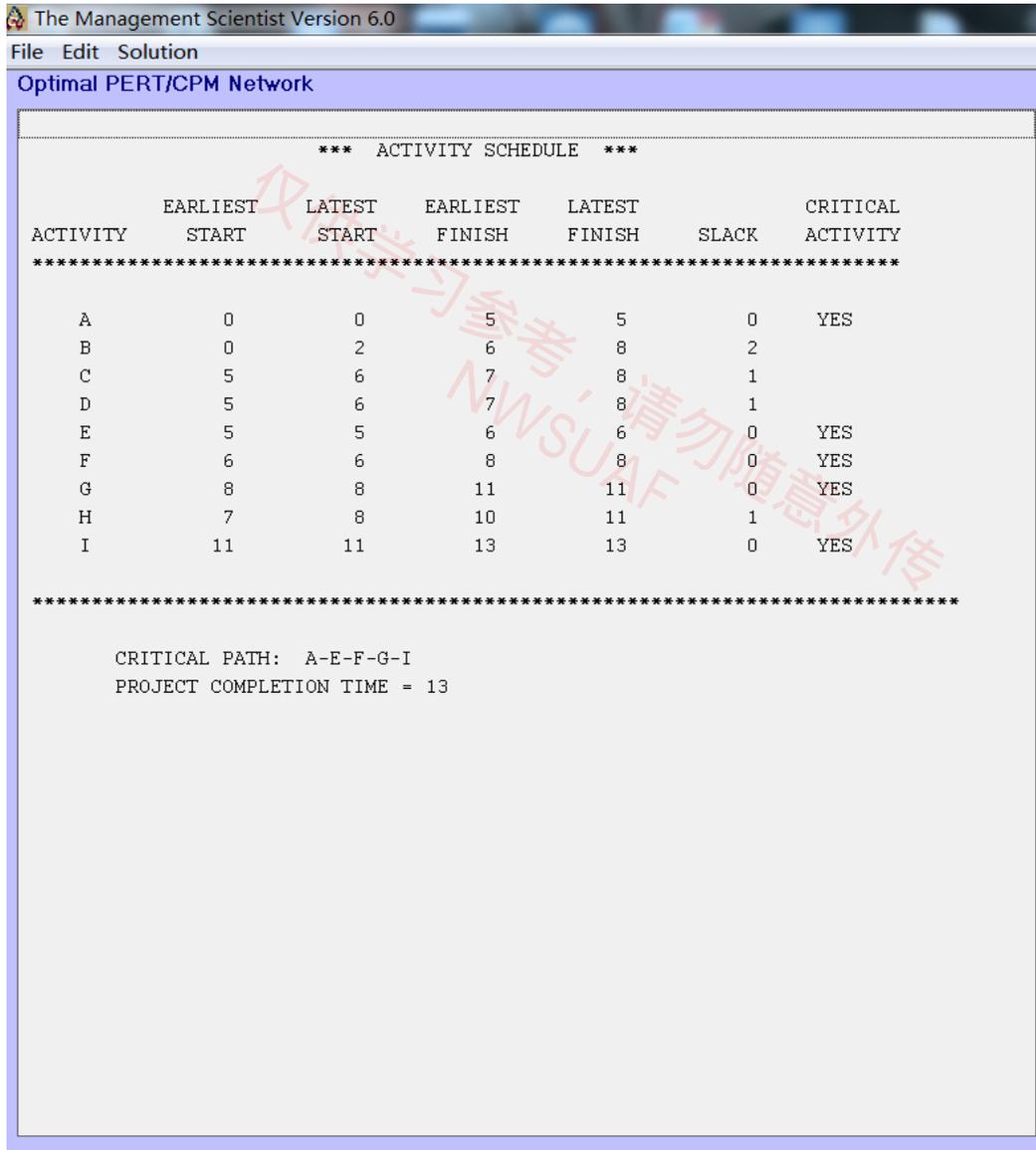
$slackE = LS - ES = 5 - 5 = 0$ 或者 $LS - ES = 6 - 6 = 0$

活动 E 没有任何松弛，为了不影响整个项目计划的完成时间，E 不可有任何延误，从这个角度看 E 对于整个项目能否按期完成非常重要，因此是整个项目的关键活动之一。

关键活动：没有任何松弛的活动。

$EF = LF; ES = LS;$





图一

由计算结果得出，活动 A, E, F, G, I 都没有任何松弛量 (slack=0) 因此这五项活动都是本次物流招标项目关键路径图的关键活动。于此同时这也意味着，这些关键活动之前的非关键活动能容忍的最大延误时间，都有可能增加整体项目的完工时间。

项目的关键路径为 A—E—F—G—I

最后一项活动 I 的最早完成时间是 26 (EF=26)，因此整个项目的完成时间为 26 周。

2. 活动时间确定或不确定的活动安排求解与结论:

【以杨凌美畅新材料股份有限公司 2022 年度整车运输项目为案例】

乐观的估计时间 a: 每项活动都能顺利进行的最小活动时间。最可能的估计时间 m: 一般状态下最可能的活动时间。悲观的估计时间 b: 遭遇重大延误时的最大活动时间。假设估计时间 t 服从期望和方差是 β 分布。

活动代码	乐观时间 a	最可能时间 m	悲观时间 b
A	4	5	8
B	1	1.5	3
C	2	3	4
D	2	3	4
E	3	4	6
F	2	2.5	3
G	2	2.5	3
H	3	4	5
I	3	3.5	4
J	1	2	3

由计算的到项目活动的期望时间及方差 (保留两位小数)

活动代码	乐观时间 a	最可能时间 m	悲观时间 b	期望时间 E (t)	方差
A	4	5	8	5.33	0.44
B	1	1.5	3	1.67	0.11
C	2	3	4	3.00	0.11
D	2	3	4	3.00	0.11
E	3	4	6	4.17	0.25

F	2	2.5	3	2.5	0.021
G	2	2.5	3	2.5	0.021
H	3	4	5	4	0.11
I	3	3.5	4	3.5	0.03
J	1	2	3	2	0.11

表四

在计算时，将期望活动时间视为固定值或已知值。利用前述方法求关键路径，之后分析活动时间方差的影响。利用向后推进法求出每项活动的最早开始时间 ES 和最早完成时间 EF。利用向前逆推法，求出每项活动的最晚开始时间 LS 和最晚完成时间 LF。计算各项活动的松弛量，以确定整个项目的所有关键活动，依据关键活动，找出项目的关键路径。

软件计算出项目活动进度表：

Optimal PERT/CPM Network						
*** ACTIVITY SCHEDULE ***						
ACTIVITY	EARLIEST START	LATEST START	EARLIEST FINISH	LATEST FINISH	SLACK	CRITICAL ACTIVITY
A	0.0	0.0	5.0	5.0	0.0	YES
B	0.0	8.0	1.0	9.0	8.0	
C	5.0	11.0	8.0	14.0	6.0	
D	5.0	11.0	8.0	14.0	6.0	
E	5.0	5.0	9.0	9.0	0.0	YES
F	8.0	14.0	10.5	16.5	6.0	
G	8.0	14.0	10.5	16.5	6.0	
H	9.0	9.0	13.0	13.0	0.0	YES
I	13.0	13.0	16.5	16.5	0.0	YES
J	16.5	16.5	18.5	18.5	0.0	YES

CRITICAL PATH: A-E-H-I-J
PROJECT COMPLETION TIME = 18.5

图二

活动 A、E、H、I、J 都没有任何松弛量 (slack=0) 因此这五项活动都是道特公司吸尘器项目路径图的关键活动。这也进一步意味着, 这些关键活动之前的非关键活动所能容忍的最大松弛量 (或延误时间), 都可能会增加整体项目的完工时间。

Optimal PERT/CPM Network

EXPECTED TIMES AND VARIANCES FOR ACTIVITIES

ACTIVITY	EXPECTED TIME	VARIANCE
A	5.33	0.44
B	1.67	0.11
C	3.00	0.11
D	3.00	0.11
E	4.17	0.25
F	2.50	0.03
G	2.50	0.03
H	4.00	0.11
I	3.50	0.03
J	2.00	0.11

*** ACTIVITY SCHEDULE ***

ACTIVITY	EARLIEST START	LATEST START	EARLIEST FINISH	LATEST FINISH	SLACK	CRITICAL ACTIVITY
A	0.00	0.00	5.33	5.33	0.00	YES
B	0.00	3.67	1.67	5.33	3.67	
C	0.00	2.33	3.00	5.33	2.33	
D	0.00	2.33	3.00	5.33	2.33	
E	0.00	1.17	4.17	5.33	1.17	
F	0.00	2.83	2.50	5.33	2.83	
G	0.00	2.83	2.50	5.33	2.83	
H	0.00	1.33	4.00	5.33	1.33	
I	0.00	1.83	3.50	5.33	1.83	
J	0.00	3.33	2.00	5.33	3.33	

CRITICAL PATH: A
 EXPECTED PROJECT COMPLETION TIME = 5.33
 VARIANCE OF PROJECT COMPLETION TIME = .44

图三

关键路径上活动时间的方差可能会导致项目总体完成时间的方差。因此, 将使用关键路径活动时间的方差来确定项目总体完成时间的方差。用 T 来表示完成整

个项目所需要的总时间，则 T 的期望值就是所有关键活动期望完成时间之和。项目完成时间的方差就等于所有关键路径活动时间方差之和。

观察四条关键路径：

路径 1: $A \Rightarrow E \Rightarrow H \Rightarrow I \Rightarrow J$

路径 2: $A \Rightarrow C \Rightarrow F \Rightarrow J$

路径 3: $A \Rightarrow D \Rightarrow G \Rightarrow J$

路径 4: $B \Rightarrow H \Rightarrow I \Rightarrow J$

路径期望和方差数据表：

活动代码	期望时间 $E(t)$	方差	路径 1	路径 2	路径 3	路径 4
A	5.33	0.44	YES	YES	YES	
B	1.67	0.11				YES
C	3.00	0.11		YES		
D	3.00	0.11			YES	
E	4.17	0.25	YES			
F	2.5	0.021		YES		
G	2.5	0.021			YES	
H	4	0.11	YES			YES
I	3.5	0.03	YES			YES
J	2	0.11	YES	YES	YES	YES

表五

四条关键路径的活动时间期望和方差

路径方案	活动数量	活动代码	活动时长 t	活动方差

Path1	5	A,E,H,I,J	5.33,4.17,4,3.5,2	0.44,0.25,0.11,0.03,0.11
Path2	4	A,C,F,J	5.33,3,2.5,2	0.44,0.11,0.03,0.11
Path3	4	A,D,G,J	5.33,3,2.5,2	0.44,0.11,0.03,0.11
Path4	4	B,H,I,J	1.67,4,3.5,2	0.11,0.11,0.03,0.11

表六

由计算的到统计量 Z，方案概率 P。

路径方案	活动数量	活动代码	活动时长 t	活动方差	统计量 Z	方案概率 P
Path 1	5	A,E,H,I,J	5.33,4.17,4,3.5,2	0.44,0.25,0.11,0.03,0.11	1.03	0.848
Path 2	4	A,C,F,J	5.33,3,2.5,2	0.44,0.11,0.03,0.11	8.64	1
Path 3	4	A,D,G,J	5.33,3,2.5,2	0.44,0.11,0.03,0.11	8.64	1
Path 4	4	B,H,I,J	1.67,4,3.5,2	0.11,0.11,0.03,0.11	14.72	1

表七

用 Excel 的 $F(X)=\text{NORMSDIST}(A_1:A_4)$ 函数得到正态分布概率：

B2		f_x	=NORMSDIST(A2:A2)	
	A	B	C	D
1	统计量Z值	方案概率P		
2	1.03	0.848494997		
3	8.64	1		
4	8.64	1		
5	14.72	1		

图四

问题 3. 时间与成本抉择求解与结论：

【以杨凌美畅新材料股份有限公司 2022 年度整车运输项目为案例】

我们假设当前的维修水平要求该维修项目必须在 10 天之内完成。考虑到项目网络的关键路径长度为 12 天，除非能够缩短活动的已知时间，否则要满足期望是不可能的。通常可以靠增加资源来缩减活动时间（紧缩(crashing)）但是，会增加额外的资源来缩短活动时间，通常会导致项目成本的增加。

Optimal PERT/CPM Network

```

*** ACTIVITY SCHEDULE ***

```

ACTIVITY	EARLIEST START	LATEST START	EARLIEST FINISH	LATEST FINISH	SLACK	CRITICAL ACTIVITY
A	0	0	7	7	0	YES
B	7	7	10	10	0	YES
C	0	1	6	7	1	
D	6	7	9	10	1	
E	10	10	12	12	0	YES

CRITICAL PATH: A-B-E
PROJECT COMPLETION TIME = 12

图五

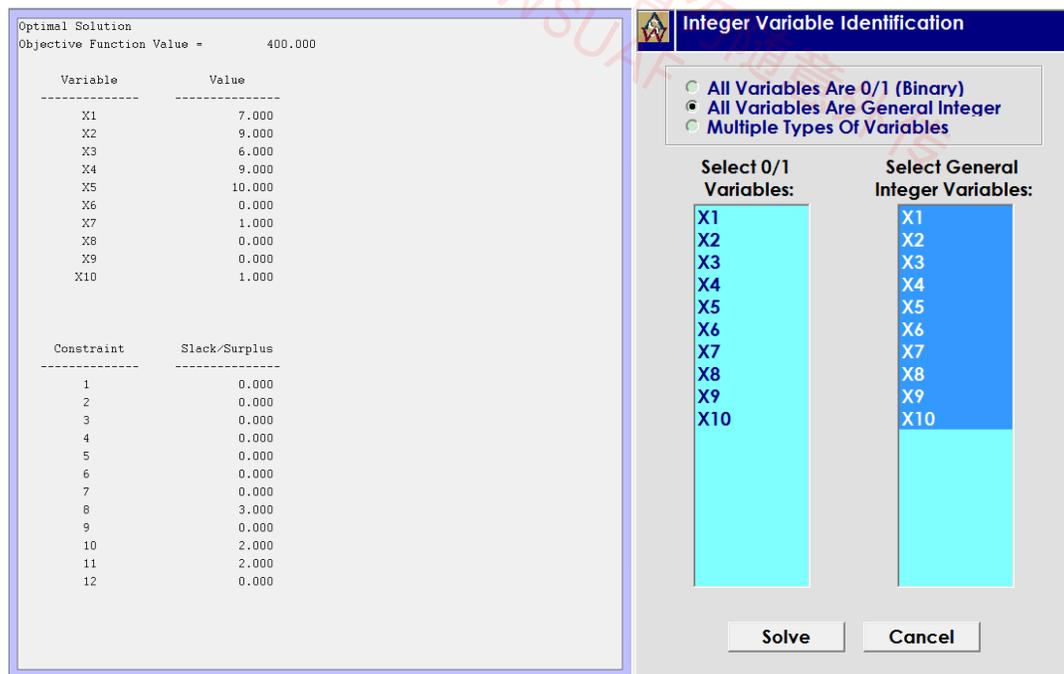
为了以最小成本在 10 天期限内完成整个项目我会最先考虑：应该紧缩关键路径上的活动，即 A、B、E。而活动 A 在这 3 项活动中具有最低的单位紧缩成本。

($K_A=100$)。所以将活动 A 紧缩 2 天可以使路径 A—B—E 的完成时间缩减为期望的 10 天。

正常活动和紧缩活动数据表：

活动代码	正常 时间 T_i	紧缩 时间 T_i'	正常 费用 C_i	紧缩 费用 C_i'	最大 紧缩时间 M_i	单位 紧缩费用 K_i
A	7	4	500	900	3	200
B	3	2	200	500	1	150
C	6	4	500	800	2	100
D	3	1	200	350	2	150
E	2	1	300	550	1	250
合计	21	12	1700	3100	9	850

表八



图六

6.政策建议

在对外贸易的带动下，海上物流运输成为对外大宗贸易的重要运输方式。加之在大数据的作用下，物流配送成为海上船舶运输结构中新的组成部分。与陆运和航空运输相比，海上船舶运输具有运输量大，运输成本低的特点。但是，在物流配送

链结构模式下，船舶运输所不具备的灵活性，要求船舶运输必须对物流配送信息进行预先分析处理，通过对应的模型对数据进行综合分析，得到最佳的配送路径，从而降低运输成本，提升配送效率。

参考文献

王晓丽. 基于大数据分析的船舶海上物流配送链优化模型 [J]. 舰船科学技术, 2020, Vol. 42, No. 5A.

王伟. 低碳条件下鲜活农产品冷链物流配送路径优化 [J]. 江苏农业科学, 2019, 47(13): 10-15.

附录材料：

软件分析过程：



问题分析过程1.CPM



问题分析过程2.CPM



问题分析过程3.CPM



问题分析过程4.CPM

正文未充分展开证明：

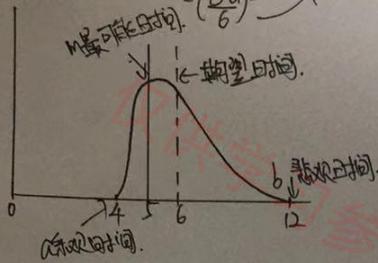
2. 活动时间确定或不确定下的活动安排求解与讨论 [以杨凌美畅高新材料股份有限公司为例]
 假设从期望 $E(t)$ 和方差 $Var(t) = \sigma^2$ 如下分布:

$$E(t)_A = \frac{0t + 4m + b}{6} = \frac{4 + 4 \times 5 + 8}{6} = \frac{32}{6} = 5.33$$

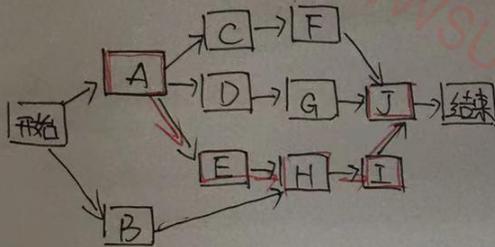
A项活动时间方差 (保留二位小数)

$$Var(t)_A = \sigma_A^2 = \left(\frac{8-4}{6}\right)^2 = (0.66)^2 = 0.4356 \approx 0.44$$

$$= \left(\frac{b-a}{6}\right)^2$$



活动建立在 β 分布条件下假设基础上。
 \therefore A的不确定性如图。



四条路径:

Path 1: A → E → H → I → J

Path 2: A → C → F → J

Path 3: A → D → G → J

Path 4: B → H → I → J

路径的期望总时长

$$E(T_1) = t_A + t_E + t_H + t_I + t_J = 19$$

$$E(T_2) = t_A + t_C + t_F + t_J = 12.83$$

$$E(T_3) = t_A + t_D + t_G + t_J = 12.83$$

$$E(T_4) = t_B + t_H + t_I + t_J = 11.17$$

各路径活动时间的标准差为 (保留两位小数)

$$\sigma_1 = \sqrt{\sigma_1^2} = \sqrt{0.94} = 0.97$$

$$\sigma_2 = \sqrt{\sigma_2^2} = \sqrt{0.69} = 0.830$$

$$\sigma_3 = \sqrt{\sigma_3^2} = \sqrt{0.69} = 0.830$$

$$\sigma_4 = \sqrt{\sigma_4^2} = \sqrt{0.66} = 0.81$$

路径活动时间的方差

$$\sigma_1^2 = \sigma_A^2 + \sigma_E^2 + \sigma_H^2 + \sigma_I^2 + \sigma_J^2 = 0.44 + 0.25 + 0.11 + 0.03 + 0.11 = 0.94$$

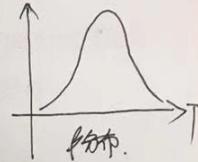
$$\sigma_2^2 = \sigma_A^2 + \sigma_C^2 + \sigma_F^2 + \sigma_J^2 = 0.44 + 0.11 + 0.03 + 0.11 = 0.69$$

$$\sigma_3^2 = \sigma_A^2 + \sigma_D^2 + \sigma_G^2 + \sigma_J^2 = 0.44 + 0.11 + 0.03 + 0.11 = 0.69$$

$$\sigma_4^2 = \sigma_B^2 + \sigma_H^2 + \sigma_I^2 + \sigma_J^2 = 0.11 + 0.11 + 0.03 + 0.11 = 0.36$$

假设项目完成时间 T 服从正态分布 (钟形分布), 那么我们就可以计算出特定完成期限的概率。
服从正态分布 T , 则构造正态分布。

$$Z = \frac{T - E(T)}{\sigma} \sim N(0, 1) \quad T \sim N(E(T), \sigma^2)$$



期限设定为 $T = 20$ 周, 则通过计算可得到统计量。

$$P_1: z^* = \frac{20 - 19}{0.97} = 1.03$$

$$P_2: z^* = \frac{20 - 2.83}{0.83} = \frac{17.17}{0.83} = 8.64$$

$$P_3: z^* = \frac{20 - 2.83}{0.83} = \frac{17.17}{0.83} = 8.64$$

$$P_4: z^* = \frac{20 - 11.17}{0.6} = \frac{8.83}{0.6} = 14.72$$

通过 Excel 的 $\text{fx} = \text{NORMSDIST}(A1:A4)$ 的函数得到正态分布概率值。

相应完成概率 P_i

$$P_1 = 0.848$$

$$P_2 = 1$$

$$P_3 = 1$$

$$P_4 = 1$$

$$\text{联合概率为: } P_{\text{all}} = \prod_{i=1}^4 P_i = P_1 \times P_2 \times P_3 \times P_4 = 0.848 \times 1 \times 1 \times 1 = 0.848$$

3. 时间与成本求解与结论。

T_i : 活动 i 的正常时间 (期望时间)

T_i' : 活动 i 的最短时间 (最大压缩下的时间)

M_i : 活动 i 正常费用 (无压缩)

C_i' : 活动 i 在最大压缩时间下的费用。

最大压缩时间: $M_i = T_i - T_i'$

每项活动在单位时间上的压缩成本。

$$k_i = \frac{C_i' - C_i}{M_i}$$

最早完成时间 = 最早开始时间 + 活动持续时间. $EF = ES + t$

松弛时间 = 最早开始 + 活动持续时间.

$$LF > (EF = ES + t)$$

如果不可能提前知道是否会于最早开始时间,

完成时间 > 最早开始时间 + 活动持续时间,

$$LF > (EF = ES + t)$$

设: x_i : 活动 i 最早完成时间 (EF_i)

y_i : 活动 i 最大压缩时间 $M_i = (T_i - T'_i)$

A 最早时间 $Z_A = 0$, 正常活动时间 $T_A = 7$, A 正常完成时间 $X_A = Z_A = Z_A + T_A = 0 + 7 = 7$

压缩状态 最早完成时间 $X'_A = Z_A + T'_A = Z_A + (T_A - y_A) = 0 + (7 - y_A)$.

$$X_0 > X'_A \quad X_A \geq 0 + (7 - y_A)$$

$$X_A + y_A \geq 7 \quad (A)$$

$$X_B + y_B - X_A \geq 3 \quad (B)$$

$$X_C + y_C \geq 6 \quad (C)$$

$$X_D + y_D - X_C \geq 3 \quad (D)$$

$$X_E + y_E - X_B \geq 2 \quad (E_1)$$

$$X_E + y_E - X_D \geq 2 \quad (E_2)$$

$\therefore X_E \leq 10$. 压缩时间的约束. $y_A \leq 3, y_B \leq 1, y_C \leq 2, y_D \leq 2, y_E \leq 1$

$$\text{Min } f = \sum_{i=1}^5 k_i \cdot M_i$$

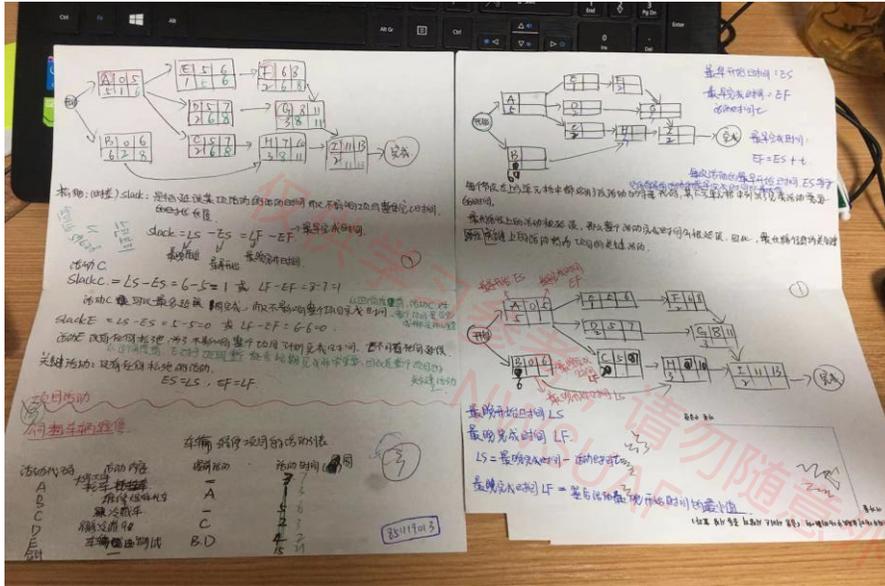
$$= k_A \cdot M_A + k_B \cdot M_B + k_C \cdot M_C + k_D \cdot M_D + k_E \cdot M_E.$$

$$= 200 \cdot y_A + 100 \cdot y_B + 100 \cdot y_C + 150 \cdot y_D + 250 \cdot y_E$$

活动 A 和活动 E 最终活动时间为 6 天和 1 天, 比正常状态下分别压缩 1 天时间,

节省成本: $k_A \cdot y_A + k_E \cdot y_E = 200 \times 1 + 250 \times 1 = 200 + 250 = 450$

原始计算数据表:



期望 时间及方差

活动名称	乐观时间 a	最可能时间 m	悲观时间 b	期望时间 E _t	方差
A	5	4	6	5	0.44
B	2	1	2.5	1.5	0.11
C	3	2	4	3	0.11
D	4	2	5	3	0.11
E	3	3	5	4	0.11
F	2.5	2	3	2.5	0.09
G	2.5	2	3	2.5	0.09
H	3.5	3	4	3.5	0.09
I	3.5	3	4	3.5	0.09
J	2	1	2	1	0.11

例计算 A 期望值的回归 (保留整数):
 $E(t)_A = \frac{a+4m+b}{6} = \frac{4+4 \times 5+8}{6} = \frac{32}{6} = 5.33$

A 活动的方差 (保留 2 位小数):
 $Var(t)_A = \sigma^2 = \left(\frac{b-a}{6}\right)^2 = \left(\frac{6-4}{6}\right)^2 = \left(\frac{2}{6}\right)^2 = \frac{4}{9} \approx 0.44$

利用科学计算器为表输出

结论

1. 活动 A、E、H、I、J 都没有任何松弛量 (Slack=0)
2. 因此这五次活动都是项目网络图的关键活动!
3. 这也进一步意味着: 这些关键活动之前的非关键活动的容忍时间最大 (松弛量 (或延误时间), 每次增加整体时间)

Scientist Version 6.0

期望时间及方差

活动名称: A, E, H, J
 活动数量: 5
 Path 1: A-E-H-J
 Path 2: 4
 Path 3: 4
 Path 4: 4
 B-H-I-J

期望时间 E_t:
 $E(T_1) = t_A + t_E + t_H + t_J = 17.8$
 $E(T_2) = t_A + t_C + t_F + t_J = 18.5$
 $E(T_3) = t_A + t_D + t_G + t_J = 18.5$
 $E(T_4) = t_B + t_H + t_I + t_J = 10.5$

方差 σ²:
 $\sigma^2 = \sigma_A^2 + \sigma_E^2 + \sigma_H^2 + \sigma_J^2 = 0.44 + 0.11 + 0.11 + 0.11 = 0.77$
 $\sigma = \sqrt{0.77} \approx 0.88$

假设 20 天内完成:
 $Z = \frac{T - E(T)}{\sigma} \sim N(0, 1)$

统计量 Z:
 $Z_1 = \frac{20 - 17.8}{0.88} = 2.5$
 $Z_2 = \frac{20 - 18.5}{0.88} = 1.7$
 $Z_3 = \frac{20 - 18.5}{0.88} = 1.7$
 $Z_4 = \frac{20 - 10.5}{0.88} = 10.8$

标准正态分布表:
 $P_1 = \Phi(2.5) = 0.9938$
 $P_2 = \Phi(1.7) = 0.9599$
 $P_3 = \Phi(1.7) = 0.9599$
 $P_4 = \Phi(10.8) \approx 1$

联合概率:
 $P_{all} = P_1 \times P_2 \times P_3 \times P_4 = 0.9938 \times 0.9599 \times 0.9599 \times 1 \approx 0.9198$

活动名称	最早开始	最迟开始	持续时间	最早结束	最迟结束	浮动时间
A	7	4	500	900	3	200
B	3	2	200	500	1	150
C	6	4	500	800	2	100
D	3	1	200	350	2	150
E	7	1	300	550	1	250
合计	21	12	1700	3100	9	850

网络图: Start -> [A: 3] -> [B: 1] -> [E: 4] -> [Finish] ; Start -> [C: 5] -> [D: 2] -> [E: 4] -> [Finish]

关键线路: A-C-E (总工期 1000天)

非关键线路: B-D-E (总工期 950天)

浮动时间: B: 150, C: 100, D: 150, E: 250

计算: $MA - TA - TB = 3 - 2 = 1$; $MA - TA - TB = 3 - 2 = 1$; $MA - TA - TB = 3 - 2 = 1$

其他: 期望工期 1000天, 浮动时间 850天

活动名称: A, B, C, D, E, F, G, H, I, J

持续时间: 500, 200, 500, 200, 300, 200, 200, 200, 200, 200

最早开始: 7, 3, 6, 3, 7, 7, 7, 7, 7, 7

最迟开始: 4, 2, 4, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1

持续时间: 500, 200, 500, 200, 300, 200, 200, 200, 200, 200

最早结束: 900, 500, 800, 350, 550, 550, 550, 550, 550, 550

最迟结束: 3, 1, 4, 2, 1, 1, 1, 1, 1, 1

浮动时间: 200, 150, 100, 150, 250, 250, 250, 250, 250, 250

活动名称: A, B, C, D, E, F, G, H, I, J

持续时间: 500, 200, 500, 200, 300, 200, 200, 200, 200, 200

最早开始: 7, 3, 6, 3, 7, 7, 7, 7, 7, 7

最迟开始: 4, 2, 4, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1

持续时间: 500, 200, 500, 200, 300, 200, 200, 200, 200, 200

最早结束: 900, 500, 800, 350, 550, 550, 550, 550, 550, 550

最迟结束: 3, 1, 4, 2, 1, 1, 1, 1, 1, 1

浮动时间: 200, 150, 100, 150, 250, 250, 250, 250, 250, 250