湖南省人民政府学位委员会办公室
湖南省教育厅学位管理与研究生教育处

2015 湖南省研究生数学建模竞赛参赛承诺书

我们仔细阅读了湖南省研究生数学建模竞赛的竞赛规则.

我们完全明白，在竞赛开始后参赛队员不能以任何方式（包括电话、电子邮件、网上咨询等）与队外的任何人（包括指导教师）研究、讨论与赛题有关的问题。

我们知道，抄袭别人的成果是违反竞赛规则的，如果引用别人的成果或其他公开的资料（包括网上查到的资料），必须按照规定的参考文献的表述方式在正文引用处和参考文献中明确列出。

我们郑重承诺，严格遵守竞赛规则，以保证竞赛的公正、公平性。如有违反竞赛规则的行为，我们将受到严肃处理。

我们授权湖南省研究生数学建模竞赛组委会，可将我们的论文以任何形式进行公开展示（包括进行网上公示，在书籍、期刊和其他媒体进行正式或非正式发表等）。

我们参赛选择的题号是（从组委会提供的试题中选择一项填写）：

我们的参赛报名号为（如果组委会设置报名号的话）：

所属学校（请填写完整的全名）：中国人民解放军国防科学技术大学

参赛队员（打印并签名）：1.李博

2.王帅

3.罗志浩

指导教师或指导教师组负责人(打印并签名)：

日期：2015　　年　9　月　15　日

评阅编号（由组委会评阅前进行编号）：

2015 湖南省研究生数学建模竞赛

编 号 专 用 页

评阅编号（由组委会评阅前进行编号）：

评阅记录（可供评阅时使用）：

评阅人										
评分										
备注										

湖南省首届研究生数学建模竞赛

题 目 航班计划的合理编排

摘 要：

本文针对航线排班问题进行了研究，在问题 1 中通过研究处理后因素的相关性获得最终关键因素，在问题 2 中利用矩阵求解思想，考虑通过广度遍历搜索获取绝对最优 3 结果，但程序复杂度太高，因而简化为优先选择城市间利润高的航班以求得最优解。

一 问题重述

航班计划是航空公司运输生产计划的具体实施计划，它规定了飞行的航线、航段、机型、航班号、班次和班期、（起降）时刻等。一个合理的航班计划应该既有助于航班的安全运行，又能提高飞机的利用率，还可以有效地降低运营及维护成本，提高公司的经济效益。

现在国内某个以客运为主的航空公司，该公司运行指挥中心每个月的月末都会对本月各航线、机型的收益情况进行市场分析，然后结合本公司现有的生产资源情况（包括现有可飞航线、不同类型的飞机数量等）编排下一个月的航班计划，在航班计划制定之后需送给机务部门进行飞机排班作业（安排每架飞机执行飞行的航班），机务部门在制定飞机排班计划时主要考虑满足飞机维修的需要，飞机排班计划完成以后形成可执行的航班计划，该计划需下发到飞行总队具体执飞。

已知该公司维修基地设在西安和天津。由于航线（航权）资源是航空公司的稀缺资源，所以制定航班计划时一般不会取消，也不会随意拆分带有经停航点的航线。在航班计划制定时，若本公司飞机数量无法满足现有航线需要，可向专业的飞机租赁公司申请租赁；反之，若在满足现有航线需要的前提下，本公司尚有一定数量的剩余飞机，则可作为备用飞机在航线发生延误及飞机出现临时故障时使用，或者直接出租给其它航空公司以便获取额外利润。

二 基本假设

1. 假设题目所给的数据真实可靠；
2. 飞机降落之后再次起飞的等待时间至少为 1 个小时；
3. 最早起飞时间为 7：00，最晚起飞时间为 23:00；
4. 各个航线之间不能随意更改机型；

三 问题分析

1.1 问题 1 的分析

对航线收入及成本明细表进行数据分析，可以找出影响某条航线收益的主要因素，从而对航线进行整改，提出改进措施，使得收益最大化。

对明细表中的数据进行分析属于数据挖掘问题，我们首先对所给数据特点进行分析。找出所有能够影响航线收益的影响因素，针对每一个因素的数据和最终收益进行对比相关性分析，从而得出影响收益的主要因素。

1.2 问题 2 的分析

当飞行航线和航空公司的营销能力是稳定的，也就是说，航线资源不可变更，平均折扣率、平均客座率是不变的，那么制定一个月的航班计划时，根据第一问求得的主要影响因素，我们需要考虑的因素为每个航线所采用的航班的时间这个主要因素，作为航班的规划。假定每个城市都为一个点，建立根据所给的航线信息，建立每个城市的可达性矩阵，随机选则每一个飞机的起点，然后遍历整个矩阵，算出最后的收益结果，从每一个结果中得到最优飞行航线规划，将此飞行航线计划保存作为第一天的结果，然后下一天从上一天的起点继续遍历，得到下一天的最优收益结果，以此类推，求得一个月以内每一天的航线飞行计划。

四 模型的建立和求解

4.1 问题 1 模型的建立和求解

对于航空公司每条航线单次飞行的收益为

$$S_{利润} = S_{收入} - S_{支出}$$

其中每航线收入为

$$S_{收入} = 全票价格 * 折扣率 * 客座率 * 机型人数$$

每航线支出为

$$S_{支出} = \sum(机组人员工资，航油费...发动机维修费)$$

我们考虑影响该航线收益的因素为:飞机起降时间，飞行时间，飞机起终点，飞机机型，折扣率，客座率,地点和时间相关变量。

对于影响收益的关键因素做数据处理：

将飞机起降时间分为上午，下午，晚上三类，转变成分类变量；

将飞机起终点分为西安，天津两类，转变为分类变量；

4.1.1 目标函数的确立

$$S_{收益} = 全票价格 * 折扣率 * 客座率 * 机型人数 - \sum(机组人员工资，航油费...发动机维修费)$$

4.1.2 模型的建立和求解

1 发现和总收入有显著相关性的因素为：

		总收入
盈利	Pearson 相关性	.949**
价格	Pearson 相关性	.803**
机供品(元)	Pearson 相关性	.672**
不正常航班费用(元)	Pearson 相关性	.671**
发动机维修费(元)	Pearson 相关性	.662**
航材维修费(元)	Pearson 相关性	.660**
全价票价格	Pearson 相关性	.650**
平均折扣率	Pearson 相关性	.572**
总支出	Pearson 相关性	.538**
航油费(元)	Pearson 相关性	.522**
机组人员工资(元)	Pearson 相关性	.456**
客座率(%)	Pearson 相关性	.445**
起降及非航空性业务费(元)	Pearson 相关性	.438**
客流	Pearson 相关性	.432**
飞行小时	Pearson 相关性	.340*
保险费-旅客责任险(元)	Pearson 相关性	.340*
晚上	Pearson 相关性	.338*
飞机座位数	Pearson 相关性	.274*
机型	Pearson 相关性	.274*

盈利，全票价格，机供品，不正常航班费用，航班起飞时刻，发动机维修费，航材维修费，折扣率，支出，航油费，机组人员工资，客座率，起降及非航空性业务费，总客流量，机型飞行小时，保险费。

由于发动机维修费，航材维修费，航油费，机组人员工资，起降及非航空性业务费，机型飞行小时，保险费全部为正相关关系，这些费用都是由航空里程所决定的，里程越长相关费用就越高。

2 发现和总支出显著相关的因素有：

		总支出
航油费(元)	Pearson 相关性	.984**
发动机维修费(元)	Pearson 相关性	.912**
飞行小时	Pearson 相关性	.860**
保险费-旅客责任险(元)	Pearson 相关性	.860**
机供品(元)	Pearson 相关性	.819**
机组人员工资(元)	Pearson 相关性	.814**
不正常航班费用(元)	Pearson 相关性	.805**
全价票价格	Pearson 相关性	.740**
航材维修费(元)	Pearson 相关性	.724**
起降及非航空性业务费(元)	Pearson 相关性	.706**
是否中转	Pearson 相关性	.620**
价格	Pearson 相关性	.576**
总收入	Pearson 相关性	.538**
含餐	Pearson 相关性	.440**
航材消耗(元)	Pearson 相关性	.388**

飞机座位数，航油费，发动机维修费，飞行小时，保险费，机供品，机组人员工资，不正常航班飞，全票价格，航材维修费，起降及非航空性业务费，起降时间，航材消耗费。

3 而同收益为显著相关的因素为

		盈利
总收入	Pearson 相关性	.949**
价格	Pearson 相关性	.707**
平均折扣率	Pearson 相关性	.605**
客流	Pearson 相关性	.518**
航材维修费(元)	Pearson 相关性	.488**
全价票价格	Pearson 相关性	.471**
不正常航班费用(元)	Pearson 相关性	.470**
机供品(元)	Pearson 相关性	.466**
客座率(%)	Pearson 相关性	.444**
发动机维修费(元)	Pearson 相关性	.419**

晚上	Pearson 相关性	.394**
飞机座位数	Pearson 相关性	.375**
机型	Pearson 相关性	.375**
是否中转	Pearson 相关性	-.311*

飞机座位数，总收入，全票价格，起降时间，平均折扣率，客流量，航材维修费，不正常航班费，机供品，客座率，发动机维修费，机型，是否中转。

筛选出其中的关键因素：

1.起降时间 飞机在晚上起飞可以获得更大的盈利。

2.机型 A320 飞机可以获取更多利润

3.是否中转 含有中转的飞机获得更少的利润

4.客流量，折扣率，机票价格 这些因素直接影响每一航线获得的总收入，因而影响较大。

4.1.3 整改意见

综上我们得到的对航空公司的整改意见是：

可以安排更多在夜晚的航班，购买大型飞机，以及减少含有中转的航线。当然决定飞机直接收入的还是实际客流量和机票折扣率，应该在客流量较大的城市之间增加航班。

4.2 问题 2 模型的建立和求解

4.2.1 数据的准备

我们设定飞行时间 8:00-24:00，飞机降落后至少 1 小时后可以起飞
根据题目所给条件构建下列两个矩阵：
矩阵以行为起点列为终点，Aij 表示从第 i 个城市出发到达第 j 个城市所需的时间（产生的利润）

矩阵 1：时间消耗矩阵

	西安	天津	汕头	福州	三亚	厦门	桂林	南宁	沈阳	海口	温州
西安			3.405	3.312					3.134		
天津				3.088	4.22	3.519	3.66	4.123		4.306	3.436
汕头	3.7										
福州	3.57	3.158									
三亚		4.17									
厦门		3.375									
桂林		3.465									
南宁		3.908									
沈阳	3.6										
海口		4.382									
温州		3.14									

矩阵 2：利润矩阵

	西安	天津	汕头	福州	三亚	厦门	桂林	南宁	沈阳	海口	温州
西安			74736.83	24624.70					-5632.46		
天津				-30110.34	32419.54	-33768.11	8015.33	33093.30		26509.22	14950.18
汕头	31724.92										
福州	8312.27	-22920.04									
三亚		132689.77									
厦门		-38841.59									
桂林		248001.45									
南宁		231655.12									
沈阳	-27788.19										
海		1191									

口		4.53									
温州		1604 7.24									

4.2.2 遍历搜索

在建立该两个矩阵之后我们采用深度优先进行遍历。这里不采用深度优先的原因是由于这个是一个连通图，更准确来说这是一个环，如果以每天为时限进行深度优先遍历，那么在第一次深度优先的遍历过程中就将走遍所有的路。如果要求得全部的解，那就会使得算法的时间复杂度大大提高。

遍历基本规则和广度优先搜索无差异，但是，对于此类图，极有可能出现多种点到点的方式，因此为了进行判断，构建下列辅助矩阵：

矩阵 3：平均利润矩阵

	西安	天津	汕头	福州	三亚	厦门	桂林	南宁	沈阳	海口	温州
西安			21949.14	7434.99					-1797.21		
天津				-9750.76	7682.36	-9595.94	2189.98	8026.51		6156.34	4351.04
汕头	8574.30										
福州	2328.37	-7257.77									
三亚		31820.09									
厦门		-11508.62									
桂林		7157.71									
南宁		5927.62									
沈阳	-7718.94										
海口		2718.97									
温州		5110.59									

若在两个城市之间出现两条及以上的通路，则选择平均利润较高的通路进行保留。根据此规则，构建的 BFS 之后的矩阵如下：

矩阵 4：时间消耗全体矩阵

	西安	天津	汕头	福州	三亚	厦门	桂林	南宁	沈阳	海口	温州
西安		6.47	3.405	3.312	10.69	9.989	10.13	10.593	3.134	10.776	9.906
天津	6.658		10.063	3.088	4.22	3.519	3.66	4.123	9.792	4.306	3.436
汕头	3.7	10.17		7.012	14.39	13.689	13.83	14.293	6.834	14.476	13.606
福州	3.57	3.158	6.975		7.378	6.677	6.818	7.281	6.704	7.464	6.594
三亚	10.828	4.17	14.233	7.258		7.689	7.83	8.293	13.962	8.476	7.606
厦门	10.033	3.375	13.438	6.463	7.595		7.035	7.498	13.167	7.681	6.811
桂林	10.123	3.465	13.528	6.553	7.685	6.984		7.588	13.257	7.771	6.901
南宁	10.566	3.908	13.971	6.996	8.128	7.427	7.568		13.7	8.214	7.344
沈阳	3.6	10.07	7.005	6.912	14.29	13.589	13.73	14.193		14.376	13.506
海口	11.04	4.382	14.445	7.47	8.602	7.901	8.042	8.505	14.174		7.818
温州	9.798	3.14	13.203	6.228	7.36	6.659	6.8	7.263	12.932	7.446	

矩阵 5：利润产生全体矩阵

	西安	天津	汕头	福州	三亚	厦门	桂林	南宁	沈阳	海口	温州
西安		1704.66	74736.83	24624.70	34124.21	-32063.44	9719.99	34797.96	-5632.46	28213.88	16654.85
天津	-21798.07		52938.76	-30110.34	32419.54	-33768.11	8015.33	33093.30	-27430.53	26509.22	14950.18
汕头	31724.92	33429.58		56349.62	65849.12	-338.53	41444.91	66522.88	26092.46	59938.80	48379.76
福州	8312.27	-22920.04	83049.10		11204.17	-54983.48	-13200.05	11877.93	2679.81	3589.18	-7969.86
三亚	110891.69	132689.77	185628.53	102579.43		98921.66	140705.09	165783.06	105259.24	159198.98	147639.95
厦门	-60639.66	-38841.59	14097.17	-68951.93	-6422.05		-30826.27	-5748.29	-66272.12	-12332.37	-23891.41
桂林	3003.38	24801.45	77740.21	-5308.89	57220.99	-8966.66		57894.75	-2629.08	51310.67	39751.63
南宁	1367.05	23165.12	76103.88	-6945.22	55584.67	-10602.98	31180.45		-4265.41	49674.34	38115.30
沈阳	-27788.19	-26083.52	46948.64	-3163.49	6336.02	-59851.63	-18068.20	7009.77		425.69	-11133.34

海口	-9883.54	11914.53	64853.29	-18195.81	44334.07	-21853.58	19929.85	45007.82	-15516.00		26864.71
温州	-5750.83	16047.24	68986.00	-14063.10	48466.78	-17720.87	24062.56	49140.54	-11383.29	42556.46	

矩阵 6：平均利润全体矩阵

	西安	天津	汕头	福州	三亚	厦门	桂林	南宁	沈阳	海口	温州
西安		263.47	21949.14	7434.99	3192.16	-3209.88	959.53	3285.00	-1797.21	2618.21	1681.29
天津	-3273.97		5260.73	-9750.76	7682.36	-9595.94	2189.98	8026.51	-2801.32	6156.34	4351.04
汕头	8574.30	3287.08		8036.17	4576.03	-24.73	2996.74	4654.23	3818.04	4140.56	3555.77
福州	2328.37	-7257.77	11906.68		1518.59	-8234.76	-1936.06	1631.36	399.73	480.87	-1208.65
三亚	10241.20	31820.09	13042.12	14133.29		12865.35	17970.00	19990.72	7538.98	18782.32	19410.98
厦门	-6044.02	-11508.62	1049.05	-10668.72	-845.56		-4381.84	-766.64	-5033.20	-1605.57	-3507.77
桂林	296.69	7157.71	5746.62	-810.15	7445.80	-1283.89		7629.78	-198.32	6602.84	5760.27
南宁	129.38	5927.62	5447.28	-992.74	6838.66	-1427.63	4120.04		-311.34	6047.52	5189.99
沈阳	-7718.94	-2590.22	6702.16	-457.68	443.39	-4404.42	-1315.96	493.89		29.61	-824.33
海口	-895.25	2718.97	4489.67	-2435.85	5153.93	-2765.93	2478.22	5291.93	-1094.68		3436.26
温州	-586.9	5110.5	5225.0	-2258.	6585.16	-2661.	3538.6	6765.8	-880.2	5715.3	

4	9	2	04		19	1	7	4	4	

矩阵 7：路径矩阵，其数值表示到达终点前依次走过的节点

	西安	天津	汕头	福州	三亚	厦门	桂林	南宁	沈阳	海口	温州
西安		4, 2	3	4	4, 2, 5	4, 2, 6	4, 2, 7	4, 2, 8	9	4, 2, 10	4, 2, 11
天津	4, 1		4, 1, 3	4	5	6	7	8	4, 1, 9	10	11
汕头	1	1, 4, 2		1, 4	1, 4, 2, 5	1, 4, 2, 6	1, 4, 2, 7	1, 4, 2,	1, 9	1, 4, 2, 10	1, 4, 2, 11
福州	1	2	1, 3		2, 5	2, 6	2, 7	2, 8	1, 9	2, 10	2, 11
三亚	2, 4, 1	2	2, 4, 1, 3	2, 4		2, 6	2, 7	2, 8	2, 4, 1, 9	2, 10	2, 11
厦门	2, 4, 1	2	2, 4, 1, 3	2, 4	2, 5		2, 7	2, 8	2, 4, 1, 9	2, 10	2, 11
桂林	2, 4, 1	2	2, 4, 1, 3	2, 4	2, 5	2, 6		2, 8	2, 4, 1, 9	2, 10	2, 11
南宁	2, 4, 1	2	2, 4, 1, 3	2, 4	2, 5	2, 6	2, 7		2, 4, 1, 9	2, 10	2, 11
沈阳	1	1, 4, 2	1, 4, 1, 3	1, 4	1, 4, 2, 5	1, 4, 2, 6	1, 4, 2, 7	1, 4, 2,		1, 4, 2, 10	1, 4, 2, 11
海口	2, 4, 1	2	2, 4, 1, 3	2, 4	2, 5	2, 6	2, 7	2, 8	2, 4, 1, 9		2, 11
温州	2, 4, 1	2	2, 4, 1, 3	2, 4	2, 5	2, 6	2, 7	2, 8	2, 4, 1, 9	2, 10	

4.2.3 最优路线选择算法：

预备部分：

在时间充分大的前提下，解的必要条件：每台飞机的最优解构成的子图中必然包含一个环。

这个环可能是 1 天就能绕一圈的，也有可能是 1 天无法绕完一圈的。当出现大于 1 天小于 2 天无法绕完的圈的时候，此航线仍由一台飞机完成，如果这个环完成所需的时间大于 2 天，则此航线上需要一台以上的飞机完成。

首先选择平均利润最高的路线，进行判断：该路线所花时间是否超过了当天的飞行剩余时间，如果未超过，在路径矩阵和平均利润中，删除所有涵盖此路径

的路径，分别累加飞行时间与停顿时间和总利润，以该路线的终点以及起点所在城市寻找除该线路以外的平均利润最高的路线，递归进行判断；如果超过，返回选择利润较低的路线，同时判断利润较低的路线的平均利润是否低于第一个完成的路线环中平均利润最低的路线。当回到起点时，为完成一个路线。

根据此算法，得到 E190 的最佳航线中必然包含的环为：

1、 XX1691,XX1692,XX1609,XX1610；

2、 XX1405,XX1406；

4.2.4 规划航线：

首先判断 bfs 中所得到的环是否可以在一天内走完。

完成第一个环所需的时间为 19.421 小时，大于 1 天小于两天，因此，最优的路线选择中每天必然经过 XX1691,XX1692,这两条航线，而 XX1609,XX1610 这两条航线每天经过其中一条，第二天经过另一条。

完成第二个环所需的时间为 8.105 小时，小于 1 天，因此，可以考虑增补其他航线。依据步骤 2 的路线环搜寻方法，可以找到 XX1439,XX1440 这两条航线，此时总的完成时间增加到了 16.987 小时。无法再添加新的路线环。因此同第一个环，最优的路线选择中每天必然经过 XX1405,XX1406,这两条航线，而 XX1439,XX1440 这两条航线每天经过其中一条，第二天经过另一条。

在规划航线时，首先考虑飞机起始地点。通过矩阵 6 与矩阵 7 找到最快进入上述两个环的路径，然后进入环之后每日重复上述过程即可。

例：若飞机 1 现在停留在沈阳，飞机 2 停留在南宁。

	第一天	第一天	第一天	第一天	第二天	第二天	第二天	第三天	第三天	第三天
飞机1	XX1572	XX1405	XX1406		XX1405	XX1406	XX1439	XX1440	XX1405	XX1406
飞机2	XX1618	XX1691	XX1692		XX1691	XX1692	XX1609	XX1610	XX1691	XX1692

之后就是不断的第二天与第三天的重复。

对 A320 来说的四个结果分别是：

	第一天	第一天	第一天	第一天	第一天	第二天	第二天	第二天	第二天	第二天
飞机1	XX1689	XX1690	XX1669	XX1670		XX1689	XX1690	XX1669	XX1670	
飞机2	XX1645	XX1646	XX1663	XX1664	XX1533	XX1534	XX1645	XX1646	XX1663	XX1664
飞机3	XX1583	XX1584	XX1657	XX1658	XX1627	XX1628	XX1583	XX1584	XX1657	XX1658
飞机4	XX1437	XX1682	XX1681			XX1668	XX1437	XX1682		

这样就可以获得最终一个月的航班安排。

4.3 问题 3 的建模与求解

由于时间问题，问题 3 还在继续研究中。