

答卷编号（竞赛组委会填写）：

答卷编号（竞赛组委会填写）：

论文题目：航班延误问题原因分析及改进措施研究

参赛队员：

- 1、姓名：王睿 学院：泰达学院 学号：1313274 电话：15022302157
- 2、姓名：于淼 学院：泰达学院 学号：1313219 电话：15122289262
- 3、姓名：姚智元 学院：数学院 学号：1310100 电话：15620942568

航班延误问题原因分析及改进措施研究

摘要

从香港南华早报针对中国航班延误最严重的结论出发,根据事实数据的搜集、整理验证了该结论的正确性,接下来由历年统计数据绘制百分比堆积图,直观反映影响中国航班延误的主要原因及其比重,得出主要原因依次为航空公司原因、流量原因和天气原因。本文将关注点置于航班到达时在空中盘旋等待降落的时间,应用排队论的原理构建数学模型,通过使得单位时间进系统人数和出系统人数相等来进行优化,从而降低航班的延误率。为检验模型有效性,我们将优化结果与假定的优化前数据进行比对,验证了模型的有效性。

关键词: 航班延误; 泊松分布; 指数分布; 排队论

一、问题重述

香港南华早报网根据 flightstats.com 的统计称：中国的航班延误最严重，国际上航班延误最严重的 10 个机场中，中国占了 7 个。其中包括上海浦东、上海虹桥、北京国际、杭州萧山、广州白云、深圳宝安、成都双流等机场。

请自行收集数据并研究以下问题：

- 1、上述结论是否正确？
- 2、我国航班延误的主要原因是什么？
- 3、有什么改进措施？

二、问题分析

（一）问题一分析

香港南华早报网的结论是基于 flightstats.com 的数据得出的，要验证该结论的正确性，只需搜集国际机场相关数据，按照延误率对各机场表现进行排序。考虑到南华早报网报导的时效性，对于机场的特定排序也有其时间限制，因为航班延误的数据是在不断滚动更新的。对此，我们只需通过某一特定时段的数据，验证关于中国航班延误最严重的结论是否属实，而不苟求得到的具体机场与题设中的机场完全一致。

我们根据从 flightstats.com 上找到的 2013 年 10 月份机场延误情况的数据，对其进行整理归纳。结果显示，在当月延误最严重的前十个机场中，有八个是中国的机场，并且正好占据了前八位，这些机场分别是广州白云、杭州萧山、上海虹桥、南京禄山、首都国际、上海浦东、郑州国际以及深圳宝安。其中最严重的广州白云机场当月的延误率甚至达到 66.67%。相关数据见表（1）。

表（1） 2013 年 10 月机场延误情况排名

排名	机场名	机场简称	国家	样本数	延误率
1	广州白云	(CAN)	中国	14460	66.67%
2	杭州萧山	(HGH)	中国	7706	64.87%

3	上海虹桥	(SHA)	中国	10710	63.32%
4	南京禄山	(NKG)	中国	5332	63.16%
5	首都国际	(PEK)	中国	23278	61.75%
6	上海浦东	(PVG)	中国	13703	60.80%
7	郑州新郑	(CGO)	中国	5389	59.94%
8	深圳宝安	(SZX)	中国	10045	59.84%
9	莫斯科伏努科沃	(VKO)	俄罗斯	4857	59.57%
10	里斯本波尔特拉	(LIS)	葡萄牙	5852	58.64%

资料来源: flightstats.com

虽然表中给出的前十名数据中未包含成都双流机场,但在我们的统计中,成都双流机场也以 52.33%的延误率排在第 15 名。综上,我们可以认为,题中所给出的结论是正确的,中国的航班延误最为严重,且题中所给的几个机场都包含在延误严重的机场名单之中。

(二) 问题二分析

关于我国航班延误的原因,主要有以下几点:

1、航空公司原因。主要包括生产计划、运行保障、空勤组、工程机务、地面服务、公司销售、代理机构、后勤保障等方面出现的失误和矛盾。由航空公司原因带来的机场延误是可以通过管理及调度上的优化减少或避免的。

2、流量原因。2013 年中国民航业全行业旅客运输量为 35397 万人次,相比 2012 年增长 10.8%,据预测,到 2020 年,我国航空运输总量将位于世界前三。日益增加的飞行流量使越来越多的问题暴露出来,航道、地面的调度不合理便是其中之一。

3、天气原因。当天气条件低于飞机的最低飞行标准或是低于机场规定的最低运行标准时,飞机便不能按时起飞、降落,并且会导致机场的保障能力的下降,从而造成民航航班出现合并、取消、返航、备降等航班延误的问题。

4、其他。除以上三种主要原因外,还有许多原因会影响航班的正常运行。比如由于旅客突发疾病或丢失证件等原因造成的登机时间拖延,由于机场突发事

件引致的安全问题以及军事演习所带来的空中管制等。

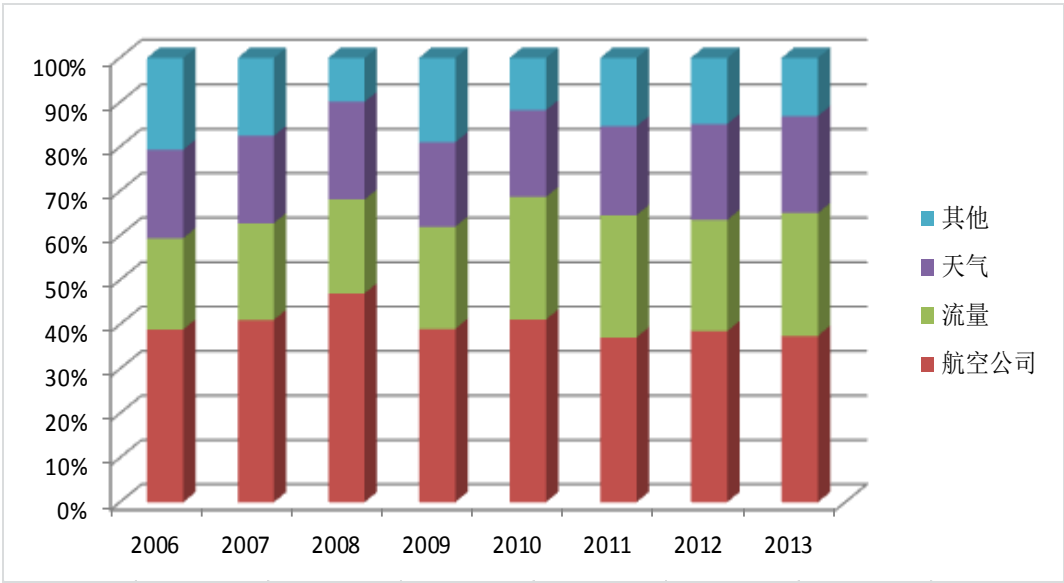
在历年的航班延误中，各原因所占的比例如表（2），图（1）。

表（2） 2006-2013 年航班延误原因统计

年份	航空公司	流量	天气	其他
2006	38.89%	20.53%	19.91%	20.664%
2007	41.04%	21.75%	19.66%	17.544%
2008	47.00%	21.11%	21.99%	9.90%
2009	39.00%	23.00%	19.00%	19.00%
2010	41.10%	27.60%	19.50%	11.80%
2011	37.10%	27.50%	20.00%	15.40%
2012	38.50%	25.00%	21.60%	14.90%
2013	37.40%	27.60%	21.80%	13.10%

资料来源：2006-2013 《从统计看民航》

图（1） 2006-2013 年航班延误原因百分比堆积柱形图



资料来源：2006-2013 《从统计看民航》

通过图（1）可以直观的看出，导致航班延误最主要的原因依次是航空公司

原因，流量原因以及天气原因。

（三）问题三分析

问题三统计分析了北京首都国际机场航班到港的实时信息，计算出一天不同时段中的到港情况。为使机场延误时间低于 15min,建立数学模型，基于排队论中 M/D/1 模型，并对其加以改进。将全天排队过程划分为若干时间区间，将每个时间区间内的排队过程视为平稳过程。运用 matlab 求解机场在不同时段所需的服务效率，达到优化机场调度的目的。

三、模型假设

根据实际情况及模型简化的需要，我们做出了以下假设：

- 1、假设延误只由飞机到达机场在空中盘旋等待引起。
- 2、假设停机位始终充足。
- 3、假设单位时间内到达的航班数目满足泊松分布。
- 4、假设飞机滑行过程中无意外情况出现。
- 5、假设飞机接受服务的时间固定不变。
- 6、假设飞机先到先服务。
- 7、假设到达飞机数量无限制。
- 8、假设飞机到达后一定会进入排队系统。

四、符号说明

符号	意义
λ	单位时间内到达的飞机数量
a	单个飞机占用跑道的的时间
Lq	平均队长

五、模型建立与求解

1、构建 M/D/1 模型

表（3）

时段	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
平均	131	9	68	2	2	1	0	5	20	106	140	97
5.18	136	8	0	0	1	1	0	5	22	107	143	98
5.17	125	10	136	3	2	0	0	4	17	104	136	95
时段	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
平均	123	100	98	93	87	84	107	85	90	112	126	120
5.18	139	101	104	98	88	84	107	82	90	106	126	119
5.17	107	99	91	88	86	84	107	87	89	118	125	120

数据来源：2015 年 5 月 17 日、18 日北京首都机场计划到达航班情况

由于从图表（3）中可以看出机场每天 10 点至次日凌晨 1 点的计划到达航班数占每天航班的 90%以上，而且依实际情况每天凌晨 2 点至 9 点飞机延误率低，不在考虑范围之内，我们主要研究每天 10 点至次日凌晨 1 点的到达航班数。

在研究飞机到到达的排队问题时，我们采用大多数学者的方法，认为单位时间内飞机的到达数量符合泊松分布，在这里我们取单位时间为 1 小时，则 1 小时内到达 K 架飞机的概率为：

$$P(x=k)=\frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda} \quad (k=0,1,2,\dots)$$

根据数据，得到一小时内飞机到达这一事件发生的平均次数约为 104.3 次，故令 $\lambda=104.3$ 。

假设机场的飞机都为同型号的，也就是说研究中的所有飞机占用跑道的时间都是一个固定值，则可基于上述分析构建一个 M/D/1 的排队模型。

在该排队系统中，服务时间 T 是定长分布，其分布函数为：

$$G(t)=\begin{cases} 0, & t < a \ (a > 0) \\ 1, & t \geq a \ (a > 0) \end{cases}$$

因为 $\int_0^\infty e^{-st} dG(t)=e^{-st}$ ，所以 $A(x)=\int_0^\infty e^{-\lambda(1-x)t} dG(t)=e^{-\lambda(1-x)}$ ，又因为

$E(T)=a, D(T)=0, \mu=\frac{1}{a}$ ， $\rho=a\lambda$ ，所以系统中分布队长的母函数为：

$$P(x)=\frac{(1-a\lambda)(1-x)e^{-\lambda a(1-x)}}{e^{-\lambda a(1-x)}-x}=\frac{(1-a\lambda)(1-x)}{1-xe^{-\lambda a(1-a\lambda)}}$$

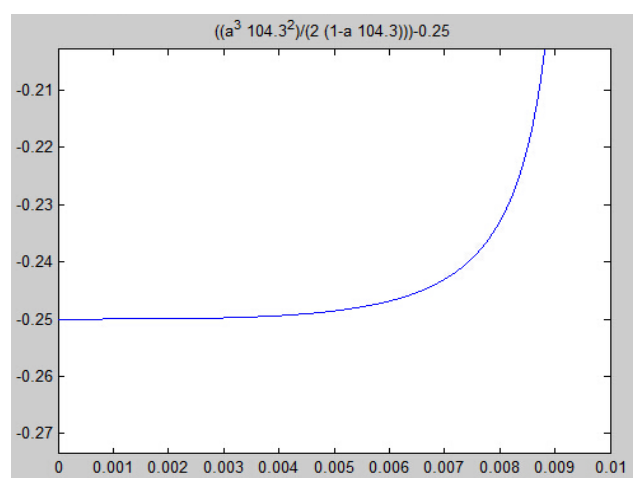
因此，我们要构建的 M/D/1 模型的队长均值为：

$$L_q=\rho+\frac{\rho^2}{2(1-\rho)}=a\lambda+\frac{(a\lambda)^2}{2(1-a\lambda)}=\frac{a\lambda}{1-a\lambda}-\frac{(a\lambda)^2}{2(1-a\lambda)}$$

由于民航飞机到达时间比计划时间晚 15 分钟(0.25h)之内不算延误，于是我

们令

$$a \cdot L_q = 0.25$$



解得一个实数解 $a=0.009396635391582549$ ，每架飞机的服务时间约为 0.563796 分钟，也就是说当每架飞机的服务时间小于等于 a 时，可以做到每架飞机到达时间与计划时间之差的平均值低于延误时间 15min。

六、模型的评价

1、模型的优点分析

本文采用 M/D/1 排队模型来描述飞机到达机场上空后的排队过程，该模型是在满足单位时间内到达飞机数量满足泊松分布的情况下导出的，而前人的大多研究表明，单位时间内飞机到达数量确实是符合泊松分布的。

模型在计算 λ 时采用了首都机场的真实数据，从而使得最终的优化结果更加准确、客观、真实，使得模型具有较强的应用性。

充分考虑了国际上对于航班延误的定义，即起飞晚点超过 15 分钟，并将其作为约束条件代入模型进行优化，使得模型更贴近现实，更易使人信服。

2、模型的缺点分析

我们在对航班延误问题进行分析时，只考虑了飞机到达时在空中等待所造成的延误，并且未将飞机延误的波及效应包含在模型之中。这使得模型在研究机场

连续性运行方面能力不足。

在计算单位时间内平均到达的飞机数量 λ 时，我们采用了首都机场一天的实时数据，虽然可通过选取某一机场某时间段的具体数据作为代表，但仍存在不同机场不同时段内的差异性对优化结果的影响。

七、参考文献

【1】许维胜，陈婉如. 一种改进的 M/D/1 模型及其应用的研究[J]. 系统仿真技术, 2012, 8(2): 122-127.

【2】马正平，崔德光. 机场航班延误优化模型[J]. 清华大学学报：自然科学版, 2004, 44(4): 474-477.