

队伍编号	MC2300333
题号	D

基于大数据集使用 SPSS 分析飞行数据实现评估和预警

摘 要

飞行安全至关重要，2022 年 3 月 21 日下中国东方航空云南有限公司执飞的波音 737-800 型客机，编号 B-1791 在云南失事，结束了中国民航 1 亿小时的安全飞行记录，该起事故造成了人重大人员伤亡，给党、国家和人民造成了不可挽回的损失。

在本次数学建模中，我们团队主要研究方向是合理简化问题提高数据处理效率，原因是飞机算力有限，并且大数据传输是非常困难的，所以我们需要得到关键数据进行分析预测评价，提高预警的可实施性。**针对第一问**，我们小组首先使用 SPSS 分析了 201404070532.xls 各变量的方差，针对方差较大的变量，我们重点研究，也就是说我们认为方差较大的变量可能出现异常数据，这是合理的¹。通过对这些变量绘制散点图，我们最终确定了下降率、无线电高度、左侧发动机油门 N1 值、右侧发动机油门 N1 值、磁航向、风向、左发油门杆位置（角度）和右发油门杆位置（角度）存在离散值，并使用四分位距(IQR)处理异常数据，将异常数据置为空值，使用四分位法的合理性我们在问题一会做出说明。**针对第二问**，我们团队提取 201404070532.xls 着陆前 10s 的杆量、姿态（俯仰角）和盘量，绘制带平滑线和数据标记的散点图。研究这些变量的原因是通过查阅文献，我们发现杆位与这三个变量有关。最终我们确定杆量存在偏离值，并使用 K-Means 进

¹ 王斌会, and 颜光宇. "异常数据的方差分析方法及医学应用." 第一军医大学学报 (1996).

行聚类分析，根据各个类的距离进行量化。**针对第三问**，我们首先研究超限原因，绘制词云图，后使用 SPSS 分析各变量和超限原因的关系，我们发现“50 英尺至接地距离远”是比较常见的超限原因，但针对不同变量如航线、飞行阶段等最常见超限原因可能不同。**针对第四问**，我们认为灰色关联分析是评价指标和飞行员资质的关系的最简单也是最容易实现的方法，因为灰色关联分析则可以较好地解决数据不服从特定分布的问题，也很容易使用 SPSS 实现，最终我们确定了 29 个关键指标。**针对第五问**，我们建立 d 多项式回归模型，通过第二问的结果取均值作为阈值，分析数据偏离均值的程度归一化后作为预测的稳健度。这种方法简单，需要的算力小，能较为直观的得到结果。

因为数据集过于庞大，大部分数据我们以附件的形式提交，附表仅保留部分数据。

关键词：SPSS 统计描述 K-Means 聚类 灰色关联分析 线性回归 模拟预测 大数据

SPSS was used to analyze flight data based on large data sets to realize assessment and early warning

Abstract:

Flight safety is very important. On March 21, 2022, a Boeing 737-800 aircraft operated by China Eastern Airlines Yunnan Co., LTD., No. B-1791, crashed in Yunnan, ending the safety flight record of China's civil aviation for 100 million hours. The accident caused heavy casualties and caused irreparable losses to the Party, the country and the people.

In this mathematical modeling, the main research direction of our team is to reasonably simplify the problem and improve the efficiency of data processing. The reason is that aircraft computing power is limited, and large data transmission is very difficult, so we need to obtain key data for analysis, prediction and evaluation, and improve the feasibility of early warning. For the first question, our team first analyzed the variance of each variable of 201404070532.xls by SPSS. We focused on the variables with large variance, that is to say, we thought that the variables with large variance may have abnormal data, which is reasonable². By plotting scatter plots for these variables, we finally determined that there were discrete values for descent rate, radio height, left engine throttle N1 value, right engine throttle N1 value, magnetic heading, wind direction, left engine throttle position (Angle) and right engine throttle position (Angle), and used interquartile range (IQR) to process abnormal data and set abnormal data as null values. The reasonability of using the interquartile range is explained in the

² Wang Bin-hui, and Yan Guang-yu. "Variance Analysis of abnormal data and its medical application." Journal of First Military Medical University (1996).

next question. For the second question, our team extracted the lever volume, attitude (pitch Angle) and disc volume of 201404070532.xls for 10s before landing, and drew a scatter plot with smooth lines and data markers. The reason for studying these variables is that by reviewing the literature, we found that pole position is related to these three variables. Finally, we determined that there was a deviation value of the rod quantity, and used K-Means for cluster analysis, which was quantified according to the distance of each class. For the third question, we first studied the causes of overrun, plotted the word cloud map, and then used SPSS to analyze the relationship between each variable and the causes of overrun. We found that "long distance from 50 feet to ground" was a relatively common cause of overrun, but the most common causes of overrun may be different for different variables, such as routes and flight stages. For the fourth question, we believe that grey relational analysis is the simplest and easiest method to evaluate the relationship between indicators and pilot qualifications, because grey relational analysis can better solve the problem that data does not obey a specific distribution, and it is also easy to use SPSS to realize. Finally, we determined 29 key indicators. For the fifth question, we establish a D-polynomial regression model, take the mean of the results of the second question as the threshold, and analyze the degree of data deviation from the mean and normalize it as the robustness of the prediction. This method is simple, requires small computing power, and can be more intuitive to obtain results.

Because the data set is too large, we submit most of the data in the form of attachments, and the attachments only retain part of the data.

Keywords: SPSS statistical description K-Means clustering grey relational analysis Linear regression simulation prediction big data

目录

1 异常数据选取和合理化简化问题 1

1.1 简化问题及其合理性 3

1.2 “清洗”不正常数据 4

1.3 对于“无线电高度”的说明” 4

1.4 使用灰色关联分析研究各变量对着陆 G 值的影响..... 5

2 量化操作对着陆 G 值的影响 13

2.1 绘制散点图，找出存在“异常”变量..... 13

2.2 研究杆量 14

3 超限发生原因分析 15

3.1 超限原因词云图 15

3.2 统计分析 15

4 使用灰色关联分析分析评价指标和飞行员资质的关系..... 17

5 仿真结果 18

6 参考文献 20

附录： 20

附表 01：飞行各阶段超限警告名称统计 20

附表 02：超限警告数超过 1000 的航班和超限名称统计 23

1 异常数据选取和合理化简化问题

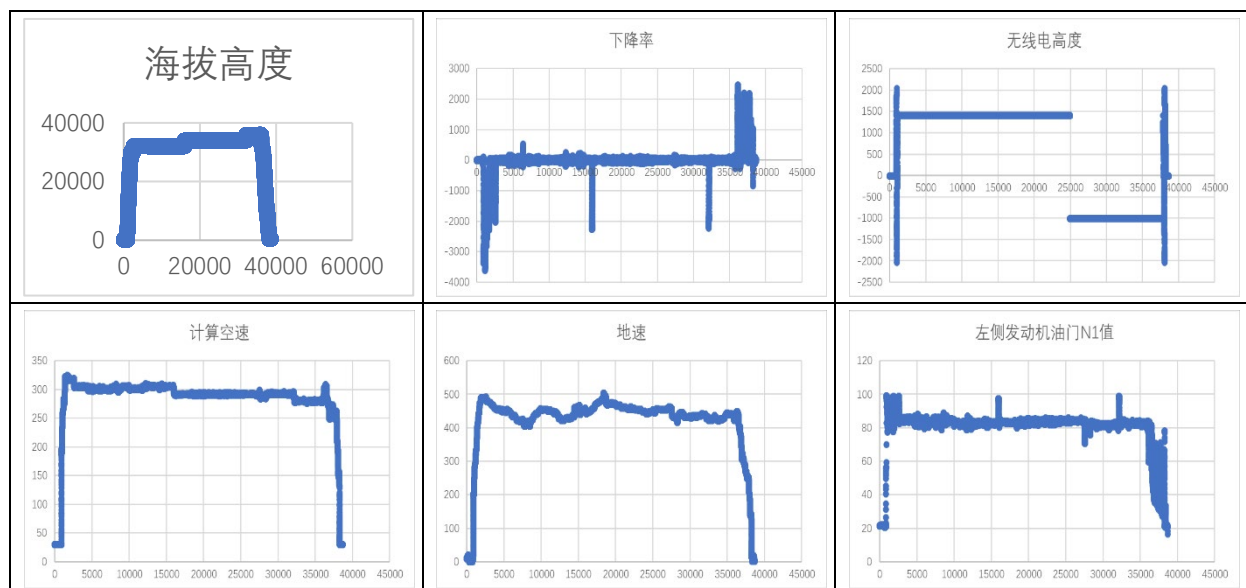
注意到所给数据集变量较多，因此我们使用 IBM SPSS Statistics 27 对 201404070532.xls 分析，发现标红的变量方差较大，为简化问题，我们重点研究标红的变量。

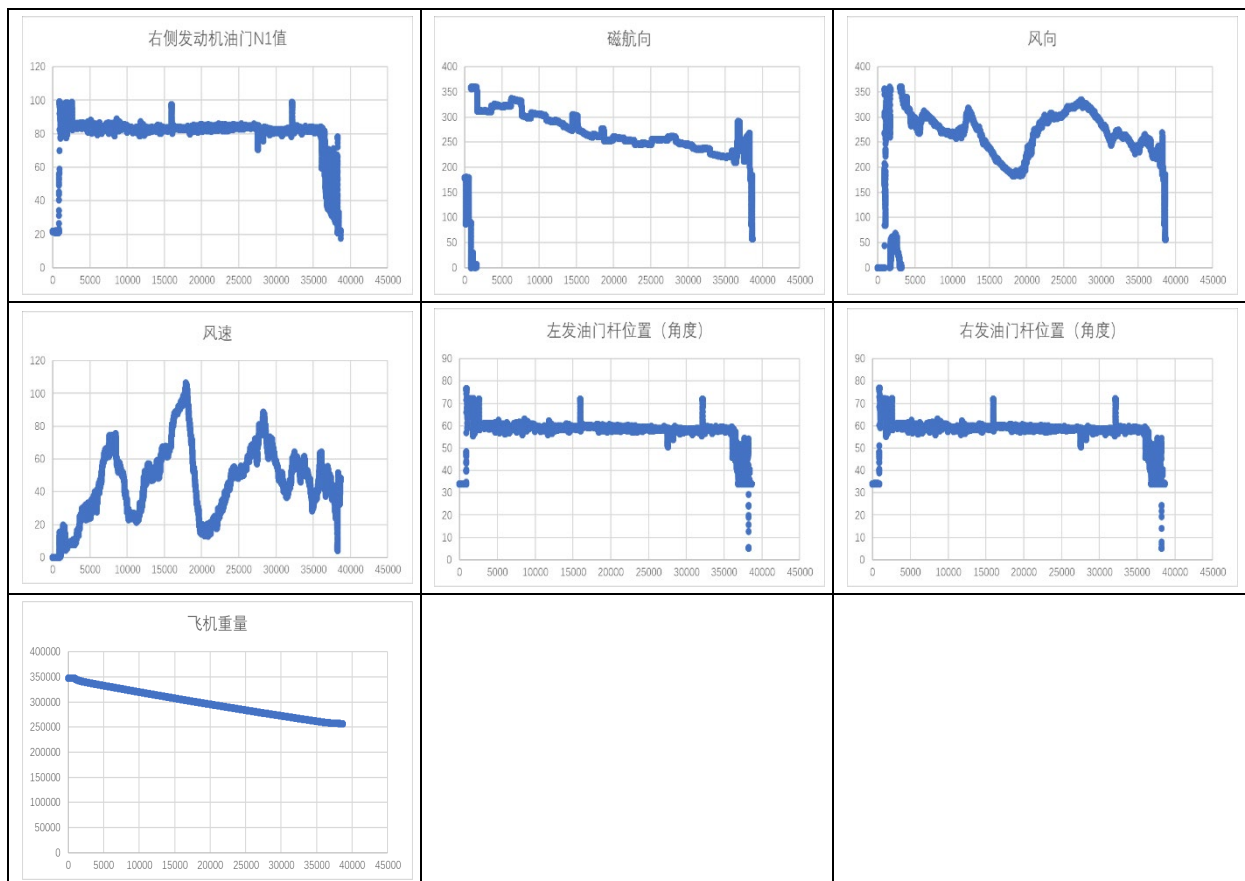
描述统计201404070532.xls						
	N	最小值	最大值	平均值	标准差	方差
海拔高度	38672	119	36027	30966.03	7896.652	62357108.034
下降率	38672	-3620	2465	-.54	439.820	193441.572
无线电高度	38672	-2042	2043	532.62	1138.300	1295727.634
计算空速	38672	30.000	324.500	283.87619	50.402056	2540.367
地速	38672	.00	503.50	422.2657	89.82965	8069.367
着陆G值0.1秒	38672	.8047	1.1992	.999065	.0162436	.000
着陆G值0.2秒	38672	.8242	1.2422	.999005	.0159228	.000
着陆G值0.3秒	38672	.8203	1.2656	.999124	.0162827	.000
着陆G值0.4秒	38672	.7695	1.2930	.999027	.0162720	.000
着陆G值0.5秒	38672	.8086	1.2773	.999055	.0160724	.000
着陆G值0.6秒	38672	.8359	1.2734	.999035	.0159367	.000
着陆G值0.7秒	38672	.8086	1.2617	.999095	.0160111	.000
着陆G值0.8秒	38672	.8164	1.2227	.999009	.0160505	.000
着陆G值0.9秒	38672	.7773	1.2344	.999087	.0161185	.000
着陆G值1秒	38672	.7539	1.2070	.999111	.0159830	.000
姿态（俯仰角）_D	38672	-1.5820	15.6006	2.362961	1.0746175	1.155
姿态（俯仰角）_C	38672	-1.5381	15.5566	2.362910	1.0746385	1.155
姿态（俯仰角）_B	38672	-1.5381	15.5566	2.362929	1.0746877	1.155
姿态（俯仰角）_A	38672	-1.5381	15.6006	2.362968	1.0746772	1.155
姿态（俯仰角）	38672	-1.5820	15.6006	2.362881	1.0745659	1.155
杆量_D	38672	-.1735	.5486	-.001016	.0094296	.000
杆量_C	38672	-.1776	.5214	-.001015	.0095201	.000
杆量_B	38672	-.1839	.4629	-.001010	.0095629	.000
杆量_A	38672	-.1829	.4807	-.001011	.0093584	.000
杆量	38672	-.1787	.5225	-.001020	.0091980	.000
坡度（左负右正）_A	38672	-24.4336	27.0703	-.073502	2.0610771	4.248
坡度（左负右正）	38672	-24.4336	27.1582	-.073402	2.0608199	4.247
盘量_D	38672	-.4054	.5413	-.003120	.0182449	.000
盘量_C	38672	-.3981	.4922	-.003101	.0182736	.000
盘量_B	38672	-.4692	.3877	-.003122	.0184919	.000

盘量_A	38672	-.4075	.5016	-.003162	.0184323	.000
盘量	38672	-.4086	.4828	-.003150	.0182141	.000
左侧发动机油门N1值	38672	16.5	99.1	79.698	14.0991	198.784
右侧发动机油门N1值	38672	17.7	99.1	79.701	14.0870	198.443
磁航向	38672	.0	359.9	263.483	49.0619	2407.073
风向	38672	.0	359.6	253.525	71.0451	5047.404
风速	38672	.000	106.500	46.02802	22.359044	499.927
左发油门杆位置（角度）_A	38672	5.0977	76.6406	57.538992	6.6078380	43.664
左发油门杆位置（角度）	38672	5.0977	76.6406	57.539156	6.6074528	43.658
右发油门杆位置（角度）_A	38672	5.2295	76.7725	57.542220	6.6016793	43.582
右发油门杆位置（角度）	38672	5.2295	76.7725	57.542235	6.6013991	43.578
RUDD位置	38672	-1.4062	.2012	-.266807	.0242968	.001
下滑道偏差（C）	38672	-5.38	4.95	-.0771	.98972	.980
下滑道偏差（L）	38672	-5.40	5.02	-.0607	.87871	.772
下滑道偏差（R）	38672	-3.94	4.96	-.0565	.89348	.798
航向道偏差（C）	38672	-5.16	5.16	-.1873	1.58883	2.524
航向道偏差（L）	38672	-5.15	5.16	-.1888	1.58799	2.522
航向道偏差（R）	38672	-5.16	5.16	-.1779	1.58769	2.521
俯仰角率	38672	-1.4375	2.8125	-.027835	.0802005	.006
飞机重量	38672	256480	347680	298018.96	26593.326	707204994.160

表格 1 SPSS 描述统计 201404070532.xls

通过 Excel 对标红变量作散点图，容易发现下降率、无线电高度、左侧发动机油门 N1 值、右侧发动机油门 N1 值、磁航向、风向、左发油门杆位置（角度）和右发油门杆位置（角度）存在离散值。





表格 2 标红的变量的散点图

1.1 简化问题及其合理性

考虑到有 8 个数据集，挨个分析工作量大，且很可能没有意义。因此我们需要高效的且合理的方法继续简化问题。考虑到剩下 7 个数据文件名的相对集中性（见表格 2）。

根据国际惯例，飞机最短检修时间间隔是飞行 100 小时³。而从 2014 年 4 月 7 日——2014 年 4 月 10 日，飞行时常远没有 100 小时，因此我们可以认为在这段时间内飞机是没有检修的，也就是说各个传感器每次工作状态是几乎一致的。

我们将 201404070532.xls 的描述统计结果推广到剩下 7 个数据集，也即对所有数据集认为下降率、无线电高度、左侧发动机油门 N1 值、右侧发动

³ "What aircraft inspections are required?." <https://www.thinkaviation.net/aircraft-inspections/>,

机油门 N1 值、磁航向、风向、左发油门杆位置（角度）和右发油门杆位置（角度）存在离散值。

文件名	记录日期
201404070532.xls	2014/4/7
201404071917.xls	2014/4/7
201404080617.xls	2014/4/8
201404081034.xls	2014/4/8
201404090110.xls	2014/4/9
201404091701.xls	2014/4/9
201404100843.xls	2014/4/10
201404101159.xls	2014/4/10

表格 3 所给数据集的记录时间

1.2 “清洗”不正常数据

我们将原始数据导入 SPSSPRO⁴，并使用四分位距(IQR)处理异常数据，将异常数据置为空值，导出文件。

使用 IQR 是合理的，因为飞机飞行过程受塔台控制，传感器收集的数据并不是随机变量，并不服从正态分布⁵，这一点我们选取部分变量使用 IBM SPSS Statistics 27 进行了验证，结果表明数据不符合正态分布。IQR 并不要求数据服从正态分布。⁶

1.3 对于“无线电高度”的说明”

我们发现 IQR 处理后的部分数据集，具体地说是以下数据集，“无线电高度”数据被全部置换为空值。

文件名	201404080617.xls
201404071917.xls	201404081034.xls
201404090110.xls	201404100843.xls

⁴ Scientific Platform Serving for Statistics Professional 2021. SPSSPRO. (Version 1.0.11)[Online Application Software]. Retrieved from <https://www.spsspro.com>.

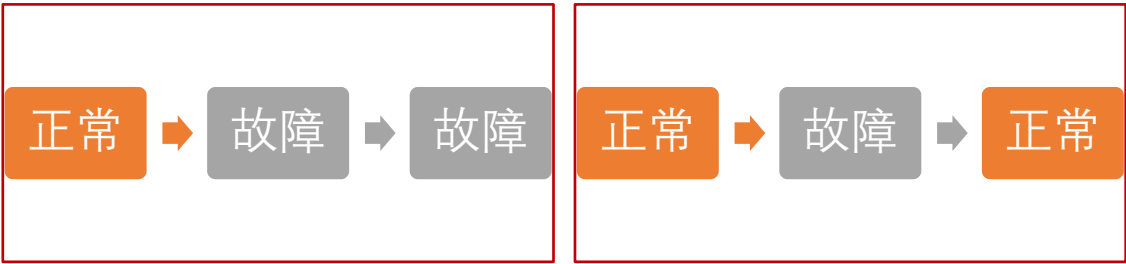
⁵ Anderson, Theodore Wilbur . "An introduction to multivariate statistical analysis." World Publishing Co. ;(1958).

⁶ Rousseeuw, Peter J.; Croux, Christophe (1992). Y. Dodge, ed. "Explicit Scale Estimators with High Breakdown Point" (PDF). L1-Statistical Analysis and Related Methods. Amsterdam: North-Holland. pp. 77–92.

201404091701.xls	201404101159.xls
------------------	------------------

表格 4“无线电高度”数据清洗后全为空值的数据集

通过上述分析，我们认为无线电高度记录仪出现了故障。具体地说是 2014 年 4 月 7 日记录完 201404070532.xls 数据后数据出现异常。时间上也有道理，因为 201404070532.xls 是第一个数据集.通常如果一个高端设备设备出现故障，在其后的测量中也可能出现故障，极低概率在很短时间内出现正常——故障——正常的情况。



图表 1 可能的情况

图表 2 极低概率出现的情况

1.4 使用灰色关联分析研究各变量对着陆 G 值的影响

将表格中着陆 G 值取平均得到平均 G 值，使用灰色关联分析方法得到 G 值和各变量的关联关系。

我们认为将表格中着陆 G 值取平均得到平均 G 值是合理的，虽然数据没有给出着陆 2s 后和 5s 后的 G 值，但是通过分析前 1s 内的 G 值我们发现数据差距极小，并且飞机下降过程用时长，5s 对于整个下降过程而言占比小，因此 5s 内可以视为匀加速度。

以下为灰色关联分析关联项排序（ $\rho=0.5$ ）：

201404070532.xls 灰色关联分析		
评价项	关联度	排名
左发油门杆位置（角度）_异常值处理	1	1
右发油门杆位置（角度）_异常值处理	1	2
左侧发动机油门 N1 值_异常值处理	1	3
右侧发动机油门 N1 值_异常值处理	1	4
计算空速	1	5
RUDD 位置	1	6

地速	1	7
海拔高度	1	8
姿态（俯仰角）	1	9
飞机重量	1	10
磁航向_异常值处理	1	11
杆量	0.999	12
风速	0.998	13
俯仰角率	0.993	14
无线电高度_异常值处理	0.992	15
盘量	0.991	16
下滑道偏差（L）	0.989	17
下滑道偏差（R）	0.989	18
下滑道偏差（C）	0.989	19
坡度（左负右正）	0.985	20
航向道偏差（L）	0.974	21
航向道偏差（C）	0.974	22
航向道偏差（R）	0.971	23
下降率_异常值处理	0.692	24

表格 5 201404070532.xls 灰色关联分析

201404071917.xls 灰色关联分析		
评价项	关联度	排名
杆量	1	1
左发油门杆位置（角度）_异常值处理	1	2
右发油门杆位置（角度）_异常值处理	1	3
左侧发动机油门 N1 值_异常值处理	1	4
右侧发动机油门 N1 值_异常值处理	1	5
RUDD 位置	1	6
地速	1	7
计算空速	1	8
海拔高度	1	9
姿态（俯仰角）	1	10
飞机重量	1	11
风向_异常值处理	1	12
风速	1	13
磁航向_异常值处理	0.999	14
盘量	0.998	15
俯仰角率	0.997	16
航向道偏差（R）	0.996	17
下滑道偏差（L）	0.996	18
下滑道偏差（C）	0.996	19
航向道偏差（L）	0.996	20
下滑道偏差（R）	0.996	21
航向道偏差（C）	0.996	22

坡度（左负右正）	0.993	23
下降率_异常值处理	0.703	24

表格 6 201404071917.xls 灰色关联分析

201404080617.xls 灰色关联分析		
评价项	关联度	排名
飞机重量	1	1
右发油门杆位置（角度）_异常值处理	1	2
左发油门杆位置（角度）_异常值处理	1	3
RUDD 位置	1	4
右侧发动机油门 N1 值_异常值处理	1	5
左侧发动机油门 N1 值_异常值处理	1	6
计算空速	1	7
磁航向_异常值处理	1	8
海拔高度	1	9
地速	1	10
风向_异常值处理	1	11
姿态（俯仰角）	1	12
杆量	0.999	13
风速	0.999	14
盘量	0.996	15
俯仰角率	0.996	16
航向道偏差（L）	0.992	17
航向道偏差（C）	0.992	18
航向道偏差（R）	0.992	19
下滑道偏差（L）	0.987	20
下滑道偏差（R）	0.983	21
下滑道偏差（C）	0.972	22
坡度（左负右正）	0.969	23
下降率_异常值处理	0.747	24

表格 7 201404080617.xls 灰色关联分析

201404081034.xls 灰色关联分析		
评价项	关联度	排名
飞机重量	1	1
RUDD 位置	1	2
右发油门杆位置（角度）_异常值处理	0.999	3
左发油门杆位置（角度）_异常值处理	0.999	4
风向_异常值处理	0.999	5
右侧发动机油门 N1 值_异常值处理	0.998	6
左侧发动机油门 N1 值_异常值处理	0.998	7
计算空速	0.998	8
风速	0.998	9
地速	0.997	10

姿态（俯仰角）	0.997	11
海拔高度	0.997	12
杆量	0.996	13
磁航向_异常值处理	0.988	14
盘量	0.988	15
俯仰角率	0.983	16
坡度（左负右正）	0.964	17
下滑道偏差（C）	0.963	18
下滑道偏差（L）	0.959	19
下滑道偏差（R）	0.94	20
航向道偏差（R）	0.905	21
航向道偏差（L）	0.882	22
航向道偏差（C）	0.881	23
下降率_异常值处理	0.788	24

表格 8 201404081034.xls 灰色关联分析

201404090110.xls 灰色关联分析		
评价项	关联度	排名
杆量	1	1
左侧发动机油门 N1 值_异常值处理	1	2
右侧发动机油门 N1 值_异常值处理	1	3
RUDD 位置	1	4
海拔高度	1	5
计算空速	1	6
左发油门杆位置（角度）_异常值处理	1	7
右发油门杆位置（角度）_异常值处理	1	8
地速	1	9
姿态（俯仰角）	1	10
飞机重量	1	11
风向_异常值处理	0.999	12
磁航向_异常值处理	0.998	13
风速	0.998	14
盘量	0.994	15
俯仰角率	0.994	16
下滑道偏差（L）	0.992	17
下滑道偏差（R）	0.992	18
下滑道偏差（C）	0.991	19
坡度（左负右正）	0.989	20
航向道偏差（L）	0.949	21
航向道偏差（R）	0.946	22
航向道偏差（C）	0.938	23
下降率_异常值处理	0.711	24

表格 9 201404090110.xls 灰色关联分析

201404091701.xls 关联度结果		
评价项	关联度	排名
左发油门杆位置（角度）_异常值处理	1	1
右发油门杆位置（角度）_异常值处理	1	2
右侧发动机油门 N1 值_异常值处理	1	3
左侧发动机油门 N1 值_异常值处理	1	4
RUDD 位置	1	5
杆量	1	6
计算空速	1	7
地速	1	8
海拔高度	1	9
飞机重量	1	10
风向_异常值处理	1	11
磁航向_异常值处理	1	12
风速	0.999	13
俯仰角率	0.997	14
下滑道偏差（C）	0.997	15
下滑道偏差（L）	0.997	16
下滑道偏差（R）	0.997	17
航向道偏差（L）	0.995	18
航向道偏差（C）	0.995	19
航向道偏差（R）	0.995	20
下降率_异常值处理	0.702	21

表格 10 201404091701.xls 关联度结果

201404100843 关联度结果		
评价项	关联度	排名

飞机重量	1	1
风向_异常值处理	1	2
右发油门杆位置（角度）_异常值处理	1	3
左发油门杆位置（角度）_异常值处理	1	4
磁航向_异常值处理	1	5
计算空速	0.999	6
左侧发动机油门 N1 值_异常值处理	0.999	7
右侧发动机油门 N1 值_异常值处理	0.999	8
地速	0.999	9
姿态（俯仰角）	0.999	10
RUDD 位置	0.999	11
杆量	0.999	12
风速	0.999	13
盘量	0.996	14
俯仰角率	0.99	15
下滑道偏差（C）	0.989	16
下滑道偏差（R）	0.988	17
下滑道偏差（L）	0.988	18
航向道偏差（R）	0.957	19
航向道偏差（C）	0.954	20
航向道偏差（L）	0.954	21
坡度（左负右正）	0.945	22
下降率_异常值处理	0.9	23

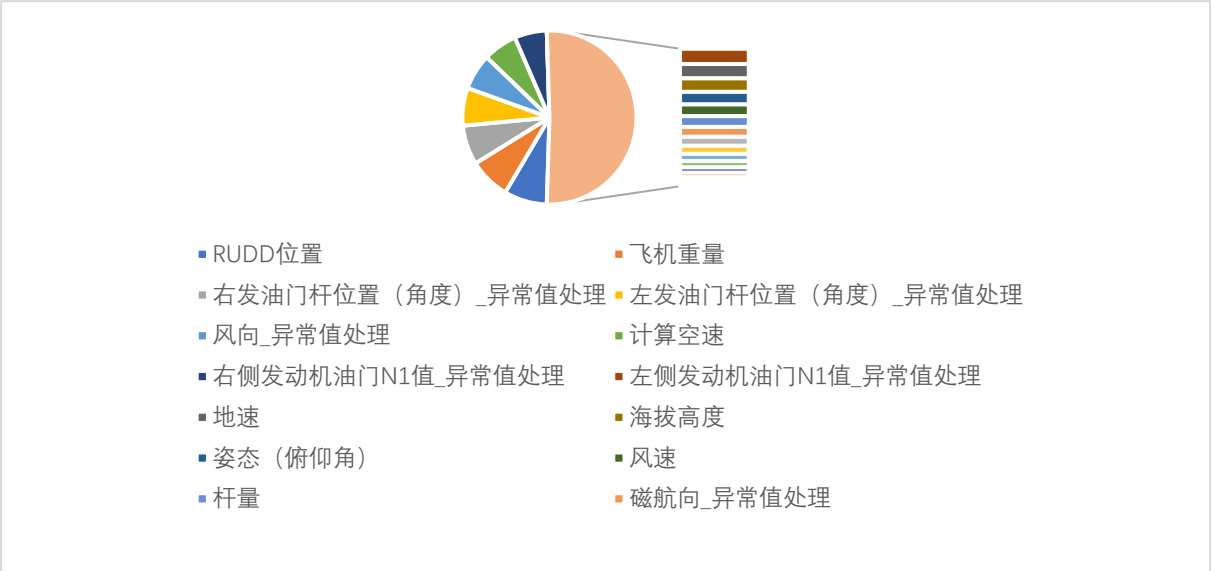
表格 11 201404100843 关联度结果

201404101159 关联度结果		
评价项	关联度	排名

飞机重量	1	1
风向_异常值处理	1	2
RUDD 位置	1	3
右发油门杆位置（角度）_异常值处理	1	4
左发油门杆位置（角度）_异常值处理	1	5
计算空速	0.999	6
地速	0.999	7
右侧发动机油门 N1 值_异常值处理	0.999	8
左侧发动机油门 N1 值_异常值处理	0.999	9
磁航向_异常值处理	0.999	10
风速	0.999	11
姿态（俯仰角）	0.998	12
盘量	0.995	13
杆量	0.995	14
下降率_异常值处理	0.991	15
俯仰角率	0.991	16
航向道偏差（L）	0.984	17
航向道偏差（C）	0.984	18
航向道偏差（R）	0.984	19
坡度（左负右正）	0.948	20
下滑道偏差（C）	0.917	21
下滑道偏差（R）	0.889	22
下滑道偏差（L）	0.843	23

表格 12 201404101159 关联度结果

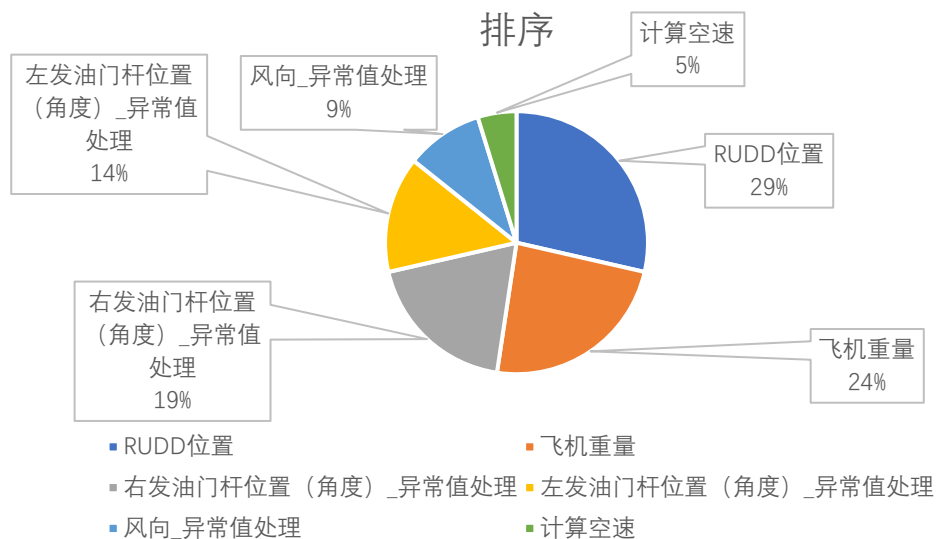
通过以上分析我们可以得出各变量对降落 G 值的“影响贡献”排序为：



图表 3 各变量对降落 G 值的“影响贡献”饼图

变量	RUDD 位置	飞机重量	右发油门杆位置 (角度) _异常值处理	左发油门杆位置 (角度) _异常值处理	风向_异常值处理	计算空速
排序	1	2	3	4	5	6
变量	右侧发动机油门 N1 值_异常值处理	左侧发动机油门 N1 值_异常值处理	地速	海拔高度	姿态 (俯仰角)	风速
排序	7	8	9	10	11	12
变量	杆量	磁航向_异常值处理	盘量	俯仰角率	下滑道偏差 (L)	下滑道偏差 (C)
排序	13	14	15	16	17	18
变量	坡度 (左负右正)	下滑道偏差 (R)	航向道偏差 (R)	航向道偏差 (L)	航向道偏差 (C)	下降率_异常值处理
排序	19	20	21	22	23	24

图表 4 各变量对降落 G 值的“影响贡献” 表格

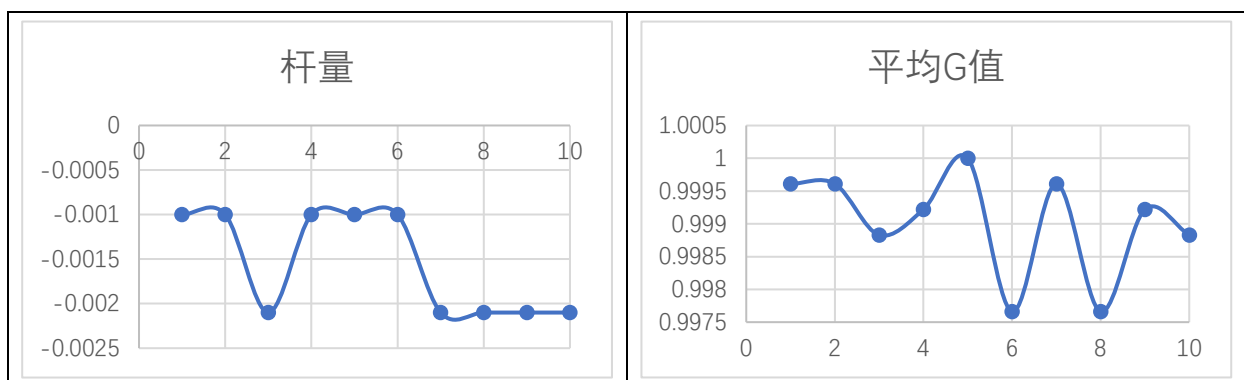


图表 5 贡献排序前六名

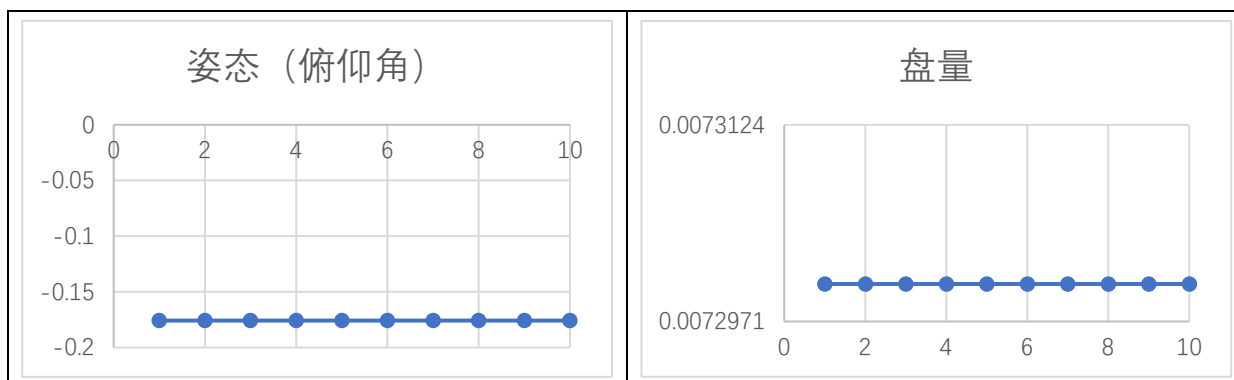
2 量化操作对着陆 G 值的影响

2.1 绘制散点图，找出存在“异常”变量

根据题目提示，我们注意到“异常”指的是进近过程中有一个数据有较大幅度偏离。我们首先提取 201404070532.xls 着陆前 10s 的杆量、姿态（俯仰角）和盘量⁷，绘制带平滑线和数据标记的散点图，由图可知杆量存在一次“异常”。



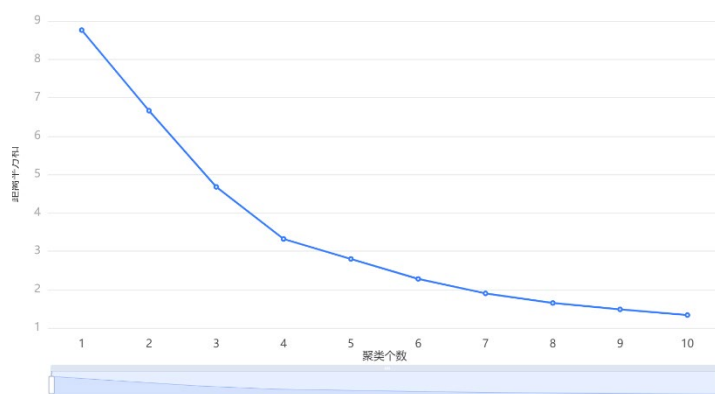
⁷ "Access denied | www.aopa.org used Cloudflare to restrict access." <https://www.aopa.org/>



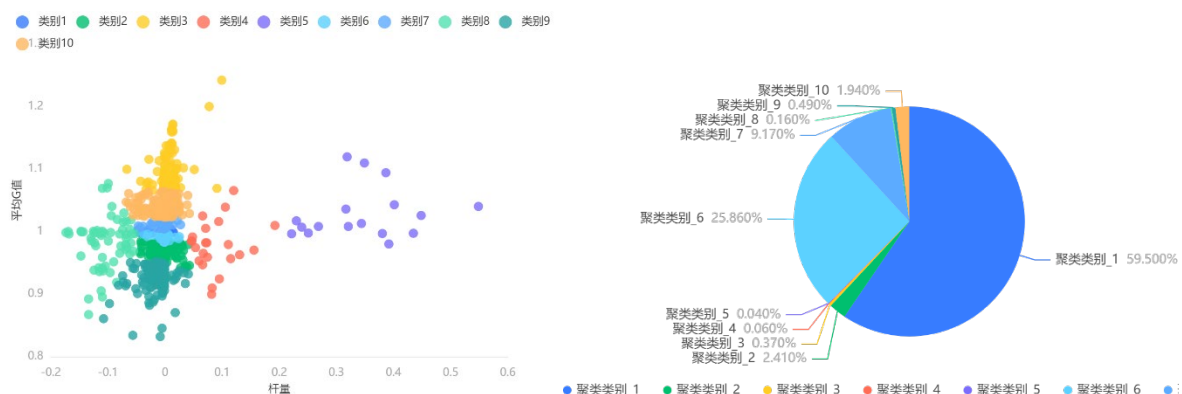
图表 6 201404070532.xls 着陆前 10s 的杆量、姿态（俯仰角）和盘量随时间变化图

2.2 研究杆量

我们对 201404070532.xls 原始数据集使用 K-Means 进行分类，根据聚类数对比图（图表 7），我们决定分十类。



图表 7 聚类数对比图



图表 8 聚类结果

我们发现聚类类别占比小于 1% 有聚类 4（0.06%）、聚类 5（0.04%）、聚类 8（0.16%）和聚类 9（0.49%），因此我们可以把它们归为“不当操作”，这样类别就能归为 7 类，正常操作聚为 3 类和“不当操作”聚类为 4 类。根

据图表 7 聚类数对比图我们可知分为 7 类时，距离平方和大概为 2。我们可以用距离平方和量化影响，因为这表示了偏离正常操作的程度。因此这次“不当操作”所造成的影响为 2。

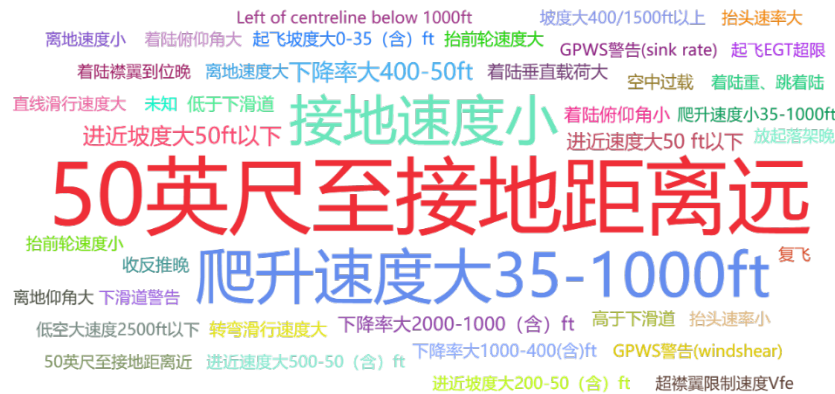
同理，我们分析剩下的七个文件。具体分析过程和报告见附件。

文件名	影响
201404071917.xls	1.41
201404080617.xls	2.07
201404081034.xls	1.44
201404090110.xls	1.00
201404091701.xls	2.00
201404100843.xls	679
201404101159.xls	601

表格 13 量化“杆量”对 G 值影响

3 超限发生原因分析

3.1 超限原因词云图



图表 9 超限原因词云图

3.2 统计分析

通过对附录表格 5 飞行各阶段超限警告名称统计、表格 6 超限警告数超过 1000 的航班和超限名称统计以及附件中问题三的各类表格分析可知：

（附录部分只摘取部分附件表格，具体表格见提交的附件）

- 进近阶段容易发生下降率大 400-50ft 和进近坡度大 50ft 以下超限警告。
- 飞行航线易发生 50 英尺至接地距离远超限警告。（以下统计为警告次数超过 1000 的航线）

飞行航线	最多警告
26 号机	50 英尺至接地距离远
16 号机	50 英尺至接地距离远
23 号机	50 英尺至接地距离远
105 号机	50 英尺至接地距离远
18 号机	50 英尺至接地距离远
14 号机	50 英尺至接地距离远
21 号机	50 英尺至接地距离远
20 号机	50 英尺至接地距离远
7 号机	50 英尺至接地距离远
13 号机	50 英尺至接地距离远
17 号机	50 英尺至接地距离远

- 不同目的地机场最易发生 50 英尺至接地距离远超限警告。（以下统计为警告次数超过 1000 的航线）

目的地机场	总计	最多警告
机场 68	20993	50 英尺至接地距离远
机场 89	1777	50 英尺至接地距离远
机场 16	1315	50 英尺至接地距离远
机场 27	1141	50 英尺至接地距离远

- 不同起飞机场最易发生 50 英尺至接地距离远和爬升速度大 35-1000ft 超限警告。（以下统计为警告次数超过 1000 的航线）

起飞机场	总计	最多警告
机场 68	17671	50 英尺至接地距离远
机场 16	1800	爬升速度大 35-1000ft
机场 89	1720	50 英尺至接地距离远

4 使用灰色关联分析评价指标和飞行员资质的关系

我们认为灰色关联分析是评价指标和飞行员资质的关系的最简单也是最容易实现的方法，因为灰色关联分析则可以较好地解决数据不服从特定分布的问题。操作简单方便，使用 SPSSPRO 就可以很快实现。

以下是最重要（关联度为 1）的结果，全部变量结果在附件的 Excel 表格中。

关联度结果		
评价项	关联度	排名
TOGate1 高度（AAL）	1	1
接地时刻缝翼设置	1	2
TDGate3 高度（AAL）	1	3
TDGate2 高度（AAL）	1	4
TDGate1 高度（AAL）	1	5
V2 数值取得方式，R 为记录值，C 为计算值	1	6
Vref 数值取得方式，R 为记录值，C 为计算值	1	7
下降率数值取得方式，R 为记录值，C 为计算值	1	8
马赫数数值取得方式，R 为记录值，C 为计算值	1	9
起飞时的缝翼位置	1	10
起飞时的襟翼位置	1	11
TOGate2 高度（AAL）	1	12
接地时刻襟翼设置	1	13
接地时刻 Vref（基准速度）	1	14
起飞后完全撤回襟翼/缝翼的计算空速	1	15
任一反推打开时的最大推力	1	16
起飞后第一次襟翼变化时的计算空速	1	17
离地时的计算空速	1	18
抬前轮时的计算空速	1	19
起飞 V2	1	20
起飞到爬升 1000ft 最大推力（EPR or N1%）	1	21
起飞后收起起落架的计算空速	1	22
起飞前的最大推力（EPR or N1%）	1	23
起落架放出时最大计算空速	1	24
设置着陆襟翼时的空速	1	25
接地时刻总重	1	26
从进近 1500ft 到接地的最大垂直 g 值	1	27

接地后的最大垂直 g 值	1	28
离地前的最大垂直 g 值	1	29

表格 14 各变量和飞行员资质关联度结果

我们在评价飞行员飞行技术时，应重点关注以上 29 个指标。

5 仿真结果

根据以上分析，我们使用线性模型就可以很好的建立预警系统。我们注意到以下变量非常影响着陆 G 值，我们可以根据加权原理，赋予以下变量更高权重，当超过某一阈值时，飞机自动报警，提示可能有操作错误。

左发油门杆位置（角度）_异常值处理
右发油门杆位置（角度）_异常值处理
左侧发动机油门 N1 值_异常值处理
右侧发动机油门 N1 值_异常值处理
计算空速
RUDD 位置
地速
海拔高度
姿态（俯仰角）
飞机重量
磁航向_异常值处理

建立多项式回归评价模型 $f(x) = ax^n + bx^{n-1} + \dots + \omega$

具体系数我们可以参考表格 5 量化“杆量”对 G 值影响。我们对影响取平均值为阈值，如果高于平均值，则视为可能着陆异常，飞机报警，且偏离程度越大“+”越多，说明着陆异常可能性较大。

分析结果如下：

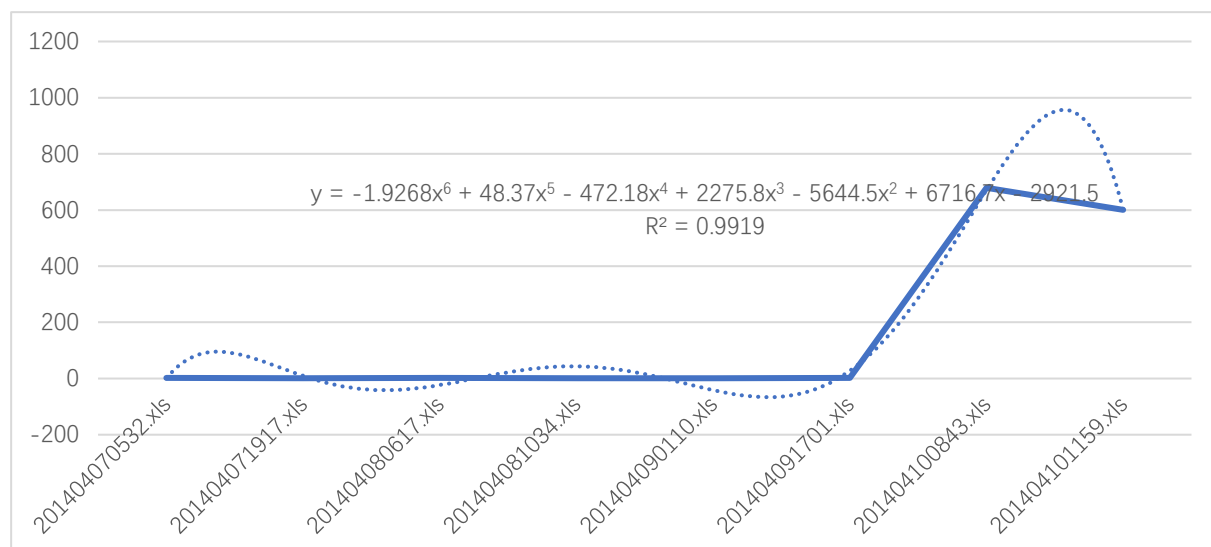
我们还需要说明的是由于现代飞机的高度智能化，在巡航阶段大部分依靠自动驾驶，而且在平流层飞机比较安全⁸，如果不是特殊情况一般不会发生事故。这在问题 3 中也得到了验证，通过分析数据我们发现在进近过程

⁸ "Access denied | www.aopa.org used Cloudflare to restrict access." <https://www.aopa.org/training-and-safety/students/presolo/skills/avoiding-midair-collisions>

中最容易出现超限警告。

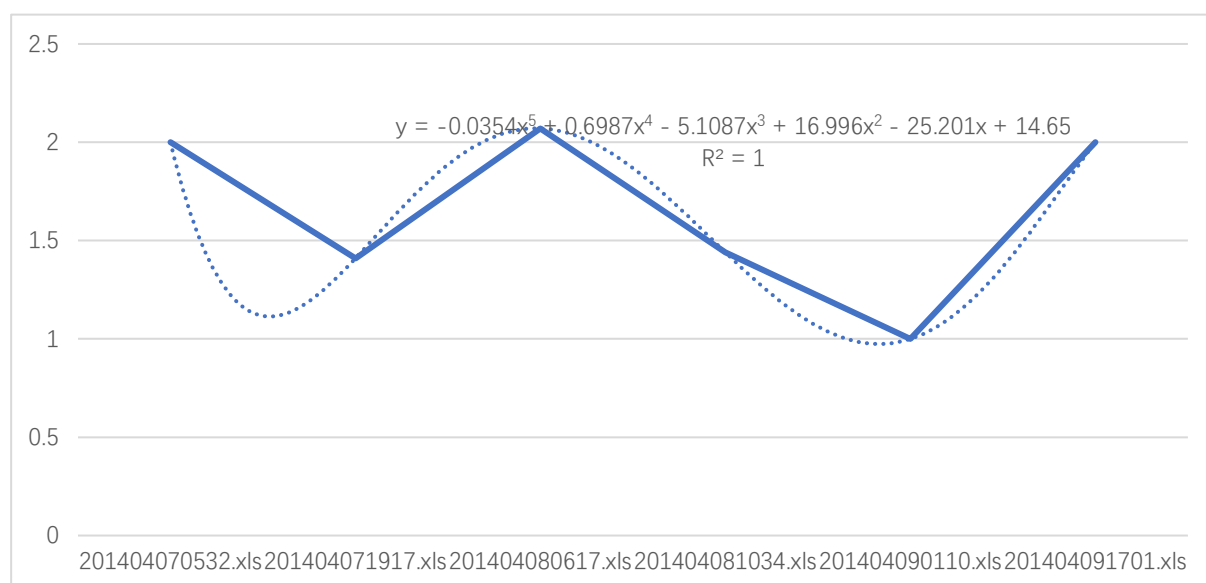
仿真结果如下：

不去除离散数据：



图表 10 不去除离散数据

去除离散数据：



图表 11 去除离散数据

我们发现如果去除离散数据，根据 5 组数据集，我们发现多项式函数值域大概在(1,2)之间，在 1.5 附近浮动，浮动程度小。

名称	预测结果
201404070532.xls	正常
201404071917.xls	正常++
201404080617.xls	正常--

201404081034.xls	正常++
201404090110.xls	正常--
201404091701.xls	正常
201404100843.xls	可能数据异常或极易出事故
201404101159.xls	可能数据异常或极易出事故

+和-指预测稳健度，数量越多表示越稳健

6 参考文献

- [1] Scientific Platform Serving for Statistics Professional 2021. SPSSPRO. (Version 1.0.11)[Online Application Software]. Retrieved from <https://www.spsspro.com>.
- [2] Azzeh M , Neagu D , Cowling P I . Fuzzy grey relational analysis for software effort estimation.[M]. Kluwer Academic Publishers, 2010.
- [3] Saroj,Kavita.Review:study on simple k mean and modified K mean clustering technique[J].International Journal of Computer Science Engineering and Technology,2016,6(7): 279-281.
- [4] 茆诗松, 王静龙, 濮晓龙, 等. 高等数理统计 (第二版)[M]. 北京:高等教育出版社, 2006.
- [5] 贾俊平,何晓群,金勇.统计学(第四版)[M].中国人民大学出版社,2009.
- [6]段义乾,and 付婷."基于适航的通航飞机左边界飞行安全研究." 航空工程进展 ..
- [7]杨大光."基于熵的飞行安全多层次模糊综合评价方法." 工业控制计算机 30.02(2017):89-91.
- [8]裴彬彬,and 徐浩军."飞机飞行安全运行边界计算方法研究".2016 年航空科学与技术全国博士生学术论坛摘要集.Ed.. 2016 年航空科学与技术全国博士生学术论坛摘要集, 2016, 13-14.
- [9]王于."影响飞机飞行安全的气象要素分析." 科技展望 26.22(2016):285.
- [10]李伟,and 姚海林."影响民用飞机飞行安全各因素的综合分析".大型飞机关键技术高层论坛暨中国航空学会 2007 年学术年会论文集.Ed.. 大型飞机关键技术高层论坛暨中国航空学会 2007 年学术年会论文集, 2007, 1762-1770.

附录:

附表 01：飞行各阶段超限警告名称统计

超限警告名称	PHASE_NAME_CN (飞行阶段中文)							总计
	未知	着陆	空中	起飞	进近	(着陆)地面	(起飞)地面	
50 英尺至接地距离近	0	5(100.0 %)	0	0	0	0	0	5

50 英尺至接地距离远	2	16660(99.8%)	0	0	30(0.2%)	0	0	16692
GPWS 警告(sink rate)	0	0	0	0	48(100.0%)	0	0	48
GPWS 警告(windshear)	0	0	1(9.1%)	0	10(90.9%)	0	0	11
High normal accel with flap (in flight)	0	0	2(28.6%)	0	5(71.4%)	0	0	7
Left of centre line below 1000ft	0	0	0	0	1(100.0%)	0	0	1
TCAS RA 警告	0	0	1(100.0%)	0	0	0	0	1
下滑道警告	0	0	0	0	43(100.0%)	0	0	43
下降率大 1000-400(含)ft	0	0	0	0	196(100.0%)	0	0	196
下降率大 2000-1000 (含) ft	0	0	20(3.5%)	0	557(96.5%)	0	0	577
下降率大 400-50ft	0	6(0.4%)	0	0	1655(99.6%)	0	0	1661
低于下滑道	1(0.3%)	0	0	0	306(99.7%)	0	0	307
低空大速度 2500ft 以下	0	0	30(100.0%)	0	0	0	0	30
坡度大 400/1500ft 以上	0	0	12(100.0%)	0	0	0	0	12
复飞	0	0	0	0	5(100.0%)	0	0	5
抬前轮速度大	0	0	0	0	0	0	105(100.0%)	105
抬前轮速度小	0	0	0	0	0	0	42(100.0%)	42
抬头速率大	0	0	0	0	0	0	1(100.0%)	1
抬头速率小	11(57.9%)	0	0	0	0	0	8(42.1%)	19
接地速度小	0	9399(100.0%)	0	0	0	0	0	9399
收反推晚	0	0	0	0	0	155(100.0%)	0	155
放起落架晚	0	0	0	0	7(100.0%)	0	0	7
爬升坡度大 35-400(含)ft	0	0	1(100.0%)	0	0	0	0	1

爬升速度大 35-1000ft	0	0	10748(100.0%)	0	0	0	0	10748
爬升速度小 35-1000ft	0	0	69(100.0%)	0	0	0	0	69
直线滑行速度大	27(100.0%)	0	0	0	0	0	0	27
着陆俯仰角大	0	0	0	0	1(5.9%)	16(94.1%)	0	17
着陆俯仰角小	4(1.0%)	164(40.9%)	0	0	233(58.1%)	0	0	401
着陆垂直载荷大	6(2.1%)	89(31.7%)	0	0	3(1.1%)	183(65.1%)	0	281
着陆襟翼到位晚	0	0	0	0	33(100.0%)	0	0	33
着陆重、跳着陆	0	0	0	0	0	6(100.0%)	0	6
离地仰角大	0	0	5(83.3%)	1(16.7%)	0	0	0	6
离地速度大	0	0	0	144(100.0%)	0	0	0	144
离地速度小	0	0	0	3(100.0%)	0	0	0	3
空中过载	0	0	95(100.0%)	0	0	0	0	95
起飞 EGT 超限	0	0	5(100.0%)	0	0	0	0	5
起飞坡度大 0-35 (含) ft	0	0	129(98.5%)	0	1(0.8%)	1(0.8%)	0	131
起飞收起落架晚	1(100.0%)	0	0	0	0	0	0	1
起飞滑跑方向不稳定	0	0	0	0	0	0	2(100.0%)	2
超襟翼限制速度 Vfe	0	0	1(33.3%)	0	2(66.7%)	0	0	3
转弯滑行速度大	171(100.0%)	0	0	0	0	0	0	171
进近坡度大 1500-500 (含) ft	0	0	0	0	3(100.0%)	0	0	3
进近坡度大 200-50 (含) ft	0	0	0	0	58(100.0%)	0	0	58
进近坡度大 500-200 (含) ft	0	0	0	0	6(100.0%)	0	0	6
进近坡度大 50ft 以下	0	83(5.3%)	0	0	1433(92.3%)	37(2.4%)	0	1553

进近速度大 50 ft 以下	6(0.8%)	0	0	0	758(99.2%)	0	0	764
进近速度大 500-500 (含) ft	0	0	0	0	76(100.0%)	0	0	76
进近速度小 500 ft 以下	0	0	0	0	1(100.0%)	0	0	1
高于下滑道	2(1.6%)	0	0	0	120(98.4%)	0	0	122

表格 15 飞行各阶段超限警告名称统计

附表 02：超限警告数超过 1000 的航班和超限名称统计

飞行 航线	26 号机	16 号机	23 号机	105 号机	18 号机	14 号机	21 号机	20 号机	7 号 机	13 号机	17 号机
50 英尺至 接地 距离 近	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)
50 英尺至 接地 距离 远	633(44.6%)	593(48.4%)	515(42.5%)	507(42.2%)	489(41.0%)	468(42.9%)	489(45.2%)	481(44.6%)	468(43.9%)	420(41.8%)	421(42.1%)
GPW S 警告 (sink rate)	1(0.1%)	1(0.1%)	0(0.0%)	0(0.0%)	1(0.1%)	2(0.2%)	2(0.2%)	0(0.0%)	2(0.2%)	1(0.1%)	0(0.0%)
GPW S 警告 (win dshe ar)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)
High norm al accel with flap (in flight)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	1(0.1%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	1(0.1%)	0(0.0%)	0(0.0%)

Left of centerline below 1000ft	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)
TCA SRA 警告	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)
下滑道警告	0(0.0%)	0(0.0%)	1(0.1%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	2(0.2%)	0(0.0%)	0(0.0%)
下降率大 1000-400(含)ft	6(0.4%)	3(0.2%)	5(0.4%)	8(0.7%)	6(0.5%)	5(0.5%)	4(0.4%)	5(0.5%)	2(0.2%)	4(0.4%)	4(0.4%)
下降率大 2000-1000(含)ft	13(0.9%)	15(1.2%)	16(1.3%)	12(1.0%)	16(1.3%)	19(1.7%)	6(0.6%)	11(1.0%)	10(0.9%)	9(0.9%)	16(1.6%)
下降率大 400-50ft	38(2.7%)	54(4.4%)	53(4.4%)	41(3.4%)	41(3.4%)	39(3.6%)	45(4.2%)	44(4.1%)	39(3.7%)	44(4.4%)	35(3.5%)
低于下滑道	4(0.3%)	1(0.1%)	6(0.5%)	3(0.2%)	7(0.6%)	3(0.3%)	2(0.2%)	1(0.1%)	3(0.3%)	6(0.6%)	5(0.5%)
低空大速度 2500ft 以下	0(0.0%)	2(0.2%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	1(0.1%)	0(0.0%)	0(0.0%)
坡度大 400/1500ft 以上	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)
复飞	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)

抬前 轮速度大	1(0.1 %)	0(0.0 %)	1(0.1 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	2(0.2 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)
抬前 轮速度小	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	2(0.2 %)	2(0.2 %)	2(0.2 %)	0(0.0 %)	2(0.2 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)
抬头 速率大	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)
抬头 速率小	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	1(0.1 %)
接地 速度小	380(26.8 %)	331(27.0 %)	278(23.0 %)	326(27.1 %)	254(21.3 %)	274(25.1 %)	241(22.3 %)	291(27.0 %)	281(26.3 %)	229(22.8 %)	241(24.1 %)
收反 推晚	2(0.1 %)	2(0.2 %)	3(0.2 %)	3(0.2 %)	2(0.2 %)	4(0.4 %)	2(0.2 %)	1(0.1 %)	2(0.2 %)	0(0.0 %)	2(0.2 %)
放起 落架晚	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	1(0.1 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)
未知	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)
爬升 坡度大 35- 400(含)ft	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	1(0.1 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)
爬升 速度大 35- 1000f t	255(18.0 %)	150(12.2 %)	273(22.5 %)	204(17.0 %)	295(24.7 %)	202(18.5 %)	208(19.2 %)	161(14.9 %)	193(18.1 %)	231(23.0 %)	200(20.0 %)
爬升 速度小 35- 1000f t	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)
直线 滑行速度大	0(0.0 %)	1(0.1 %)	0(0.0 %)	2(0.2 %)	1(0.1 %)	1(0.1 %)	1(0.1 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)

着陆 俯仰 角大	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	1(0.1 %)	0(0.0 %)
着陆 俯仰 角小	21(1.5%)	13(1.1%)	7(0.6%)	4(0.3%)	9(0.8%)	6(0.5%)	10(0.9%)	12(1.1%)	4(0.4%)	6(0.6%)	11(1.1%)
着陆 垂直 载荷 大	9(0.6%)	5(0.4%)	2(0.2%)	3(0.2%)	6(0.5%)	6(0.5%)	4(0.4%)	3(0.3%)	4(0.4%)	1(0.1%)	5(0.5%)
着陆 襟翼 到位 晚	1(0.1%)	2(0.2%)	0(0.0%)	1(0.1%)	2(0.2%)	2(0.2%)	1(0.1%)	1(0.1%)	1(0.1%)	1(0.1%)	2(0.2%)
着陆 重、 跳着 陆	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)
离地 仰角 大	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	1(0.1%)	1(0.1%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)
离地 速度 大	1(0.1%)	0(0.0%)	1(0.1%)	1(0.1%)	5(0.4%)	2(0.2%)	0(0.0%)	3(0.3%)	0(0.0%)	1(0.1%)	1(0.1%)
离地 速度 小	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)
空中 过载	2(0.1%)	1(0.1%)	0(0.0%)	5(0.4%)	4(0.3%)	0(0.0%)	4(0.4%)	3(0.3%)	1(0.1%)	3(0.3%)	3(0.3%)
起飞 EGT 超限	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)
起飞 坡度 大 0- 35 (含) ft	1(0.1%)	0(0.0%)	0(0.0%)	4(0.3%)	2(0.2%)	3(0.3%)	2(0.2%)	2(0.2%)	3(0.3%)	7(0.7%)	6(0.6%)
起飞 收起 落架 晚	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)
起飞 滑跑 方向	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)

不稳定												
超襟翼限制速度 Vfe	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)
转弯滑行速度大	2(0.1%)	3(0.2%)	2(0.2%)	1(0.1%)	0(0.0%)	0(0.0%)	1(0.1%)	0(0.0%)	0(0.0%)	1(0.1%)	1(0.1%)	
进近坡度大 1500-500 (含) ft	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)
进近坡度大 200-50 (含) ft	0(0.0%)	4(0.3%)	2(0.2%)	2(0.2%)	0(0.0%)	0(0.0%)	3(0.3%)	2(0.2%)	2(0.2%)	1(0.1%)	1(0.1%)	
进近坡度大 500-200 (含) ft	1(0.1%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	1(0.1%)	0(0.0%)	1(0.1%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)
进近坡度大 50ft 以下	34(2.4%)	28(2.3%)	26(2.1%)	54(4.5%)	32(2.7%)	32(2.9%)	39(3.6%)	39(3.6%)	29(2.7%)	27(2.7%)	29(2.9%)	
进近速度大 50 ft 以下	13(0.9%)	11(0.9%)	16(1.3%)	18(1.5%)	11(0.9%)	14(1.3%)	12(1.1%)	13(1.2%)	10(0.9%)	8(0.8%)	13(1.3%)	

进近速度大 500-50 (含) ft	0(0.0 %)	3(0.2 %)	2(0.2 %)	1(0.1 %)	4(0.3 %)	2(0.2 %)	2(0.2 %)	1(0.1 %)	1(0.1 %)	2(0.2 %)	1(0.1 %)
进近速度小 500 ft 以下	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)	0(0.0 %)
高于下滑道	1(0.1 %)	2(0.2 %)	2(0.2 %)	2(0.2 %)	3(0.3 %)	4(0.4 %)	2(0.2 %)	2(0.2 %)	4(0.4 %)	1(0.1 %)	2(0.2 %)
总计	1419	1225	1211	1202	1194	1092	1083	1078	1067	1004	1000

表格 16 超限警告数超过 1000 的航班和超限名称统计