

doi: 10.7690/bgzd.2020.11.014

基于多元线性回归分析的海军航空兵飞行训练油料消耗预测

周弘哲¹, 陈智¹, 宋海方²

(1. 陆军勤务学院勤务指挥系, 重庆 401311; 2. 中国人民解放军 92925 部队, 山西 长治 046000)

摘要: 为提高油料储运决策质量, 对海航飞行训练油料消耗进行预测。以海航某场站飞行训练航油消耗为研究对象, 针对飞行训练的各个环节, 对航空油料消耗的影响因素进行量化分析, 采用多元线性回归分析, 建立飞机油料消耗量的预测模型, 利用最小二乘法, 根据飞行训练中的相关数据, 得到飞行训练中航空油料消耗量的统计值, 并通过实例进行验证。实例验证表明: 该方法能够准确地预测航空油料的消耗, 较好地指导场站油库的保障工作。

关键词: 多元线性回归分析; 飞行训练; 油料; 消耗预测

中图分类号: TJ85; TP391.92 **文献标志码:** A

Oil Consumption Forecast of Naval Aviation Flight Training Based on Multiple Linear Regression Analysis

Zhou Hongzhe¹, Chen Zhi¹, Song Haifang²(1. Department of Service Command, Army Logistics University of PLA, Chongqing 401311, China;
2. No. 92925 Unit of PLA, Changzhi 046000, China)

Abstract: In order to improve the quality of fuel storage and transportation decisions, the fuel consumption of naval aviation flight training is predicted. Taking the aviation fuel consumption of flight training at a navy aviation station as the research object, the influential factors of aviation fuel consumption are quantified for each link of flight training. Multivariate linear regression analysis is used to establish a predictive model of aircraft fuel consumption. In the two-fold method, according to the relevant data in flight training, the statistical value of aviation fuel consumption in flight training is obtained and verified by an example. The example verification shows that this method can accurately predict the consumption of aviation fuel and better guide the depot maintenance work.

Keywords: multiple linear regression analysis; flight training; fuel; consumption forecast

0 引言

随着全军军事训练改革的深入, 海军航空兵任务多样化愈发突显, 场站航空油料的保障方式必须围绕实战化、高效化的要求, 结合具体飞行任务展开, 逐步摸索出科学化、精细化、集约化的保障方式, 摒弃传统的加油模式, 积极协调统筹多方力量, 保障飞行训练中油料保障的科学高效^[1]。

基于海军某场站油库, 其保障飞机的常态飞行训练已为“不看天”“大场次”。随着飞行训练强度与难度的增加, 导致航空油料消耗日益增大, 油料消耗预测的准确与否是组织实施油料保障的重要依据, 将影响到部队能否顺利遂行作战、训练任务, 所以合理的油料消耗预测具有十分重要的意义。

1 问题的提出

1.1 训练任务繁重, 油料消耗量大

航空油料消耗量是指一定时间内飞机在进行战

斗或者训练过程中消耗油料的多少。该油库保障的飞机时常担负长距离的转场任务, “大场次”任务具有本场飞行训练时间长、转场飞行任务多、飞行训练消耗大等特点, 训练任务的强度、密度前所未有, 要求具备充足的油料储备量。

1.2 储存条件有限, 油料筹措困难

该油库场站油库建成年代久远, 储备量小。“一装就满、一飞就空”的矛盾日益凸显, 与地方缺乏有效的沟通协调机制, 对地方石油公司、加油站及物流公司的保障能力掌握不够, 缺少针对性的预案措施, 无法满足应急时的需要。而飞行训练的油料要从数百公里之外的炼油厂调运补充, 油库所处山区的运输水平不发达^[2], 薄弱的油料运输力量也成为了制约油料保障的“瓶颈”。

1.3 保障要求高, 组织实施复杂

随着训练新大纲的开展, 所有训练都向实战化

收稿日期: 2020-06-20; 修回日期: 2020-07-23

基金项目: 国家社科基金军事学项目(14GJ003-107)

作者简介: 周弘哲(1989—), 男, 山西人, 学士, 工程师, 从事军事后勤研究。E-mail: 995897243@qq.com。

聚焦, 训练课目更加复杂多样, 训练任务随时可能发生变化^[3], 航空兵场站要在短时间内完成加油任务。航空兵部队高密度集结、高强度出动要求油料保障的高效性和时效性, 使得油料保障组织更为复杂。

精准的航空油料消耗预测有助于场站油库进行提前筹划、储备。预测不精准会导致频繁地进行油料申请、调拨、运输、接收等业务, 影响油料供应保障工作, 增加了油库的管理负担。

2 影响因素分析

飞行训练中所需航空油料消耗量是随机变量, 受到多种因素的影响。为了建立有效的油料消耗模型, 首先要对影响油料消耗的因素进行分析, 找出主要影响因素^[4]。一般情况下, 影响油料消耗的因素有飞行时间、课目难易、环境温度、飞行员技术差异、机务维护保障等^[5]。

针对飞行训练的各个环节, 分析得出影响油料消耗的主要因素有 4 个方面。

2.1 飞行时间因素

优秀飞行员精湛的飞行技术需要充足的飞行时间做保障, 飞行时间越长, 越能训练出高超的飞行技艺。美国空军规定飞行员的每天要飞行 4~5 h, 近几年, 我军飞行员每天的飞行时间在大幅增加, 这就要依赖可靠的后勤保障, 而油料消耗是非常重要的一个环节。同一机型的训练, 飞行时间越长, 油料消耗越大; 反之, 油料消耗越小。

2.2 课目难易因素

不同的飞行训练课目对油料的消耗是不同的, 飞机不同的状态会导致油料消耗不同。该单位飞行训练主要有起落、航行、编队飞行、空域飞行、仪表飞行等课目。飞行状态大致为起落和航行 2 种状态, 在分析中可以用起落状态占整个飞机飞行状态的百分比进行计算。

2.3 空域环境因素

外界环境对发动机的油料消耗率也会有影响, 不同的大气温度、湿度、气压都会对油料消耗率有影响, 尤其是飞行空域的大气温度影响最为明显。当大气温度降低时, 空气流量增加。同时, 空气易于压缩, 发动机增压比增加, 总效率增加, 油料消耗率降低。大气温度升高时, 油料消耗率则反之。

2.4 机务维护保障

机务维护既是飞机安全飞行的保障, 也是影响

油料消耗的重要因素。飞机在机务维护过程中要求, 每 3 到 5 个飞行日要组织一天机械日。为了保持飞机的良好状态, 不仅要定期在机械日对飞机进行地面试车检查, 而且要对飞机故障进行排除检查、落实特定检查, 以及校验部分仪表时进行试车, 这些情况都导致了油料的大幅消耗。

建立油料消耗模型要对各因素进行量化: 飞行时间因素量化为飞行小时; 课目难易因素可量化为飞行起落课目占总课目的比例; 空域环境因素可以粗略量化为飞行空域平均温度; 机务维护中地面试车可量化为试车次数。

3 回归分析预测模型构建

通过上述分析可知, 该油库保障飞机的油料消耗量主要受飞行时间、飞行起落占比、飞行空域平均温度以及地面试车次数的影响。飞机油料消耗量在一定范围内上下波动, 和上述 4 个因素之间是相关关系。笔者应用多元线性回归分析, 建立飞机油料消耗量的预测模型^[6]。

3.1 建立预测模型

设某团某月油料消耗量为 y , 飞行时间为 x_1 , 飞行起落占比为 x_2 , 飞行区域月平均温度为 x_3 , 地面试车次数为 x_4 :

$$\begin{cases} y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \\ \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \varepsilon \\ \varepsilon \sim N(0, \sigma^2) \end{cases} \circ$$

式中, $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \sigma^2$ 为与 x_1, x_2, x_3, x_4 无关的未知参数, 其中 $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ 为回归系数。

得到 n 个独立统计的数据 $(y_i, x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, x_{i4})$, $i=1, 2, \dots, n$,

$$\begin{cases} y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \\ \beta_3 x_{i3} + \beta_4 x_{i4} + \varepsilon_i \\ \varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2), i=1, 2, \dots, n \end{cases} \circ$$

$$\text{记 } \mathbf{X} = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & x_{13} & x_{14} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & x_{23} & x_{24} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & x_{n3} & x_{n4} \end{bmatrix}, \mathbf{Y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix},$$

$$\boldsymbol{\varepsilon} = [\varepsilon_1 \ \varepsilon_2 \ \dots \ \varepsilon_n]^T, \boldsymbol{\beta} = [\beta_0 \ \beta_1 \ \dots \ \beta_n]^T \circ$$

则可以表示为:

$$\begin{cases} \mathbf{Y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon} \\ \boldsymbol{\varepsilon} \sim N(0, \sigma^2 \mathbf{E}_n) \end{cases} \circ$$

其中 E_n 为 n 阶单位矩阵。

上式为飞机油料消耗量多元线性回归方程，即飞机油料消耗量预测模型。

3.2 参数估计

建立飞机油料消耗量预测模型后，通过样本容量为 n 的样本值对未知参数 $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ 进行估计。利用最小二乘法确定 $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ 的估计值。表 1、表 2 分别为 2018 年、2019 年油料消耗量与各变量的统计值。

表 1 2018 年油料消耗量与各变量的统计值

月份	飞行时间 t/h	起落课目占比/ %	温度 T/°C	地面试车次数	油料消耗量 m/t
1	98	27.2	-1.5	25	120.680
2	264	17.3	0.7	14	191.407
3	423	26.8	5.0	39	296.096
4	314	30.0	12.9	37	283.749
5	345	30.5	19.7	43	300.136
6	273	9.6	21.1	37	323.923
7	25	36.1	24.2	6	45.028
8	38	45.8	22.4	5	9.086
9	320	26.3	18.3	32	294.647
10	100	24.2	10.6	24	101.382
11	263	30.7	4.6	28	247.813
12	129	34.2	-2.2	33	130.380

表 2 2019 年油料消耗量与各变量的统计值

月份	飞行时间 t/h	起落课目占比/ %	温度 T/°C	地面试车次数	油料消耗量 m/t	月份	飞行时间 t/h	起落课目占比/ %	温度 T/°C	地面试车次数	油料消耗量 m/t
1	386	34.1	-5.1	28	266.181	4	294	27.2	16.1	36	281.661
2	252	34.1	-0.6	24	197.971	5	599	33.3	18.8	33	415.811
3	595	31.9	8.8	42	438.282	6	154	28.4	22.9	28	183.380

以该单位×架飞机的各项数据为例，将其 2018 年 12 个月的飞行时间、飞行起落占比、飞行空域月平均温度、地面试车次数的统计数据输入 Excel 做回归分析，取置信度 $\alpha=0.05$ ，得到如表 3—5 所示

的结果。

表 3 模型汇总

模型	R	R ²	调整 R ²	标准误差
1	0.981 497	0.963 337	0.942 387	26.494 25

表 4 方差分析

模型	df	SS	MS	F	Significance F
回归分析	4	129 107.1	32 276.78	45.981 89	4.13×10 ⁻⁵
残差	7	4 913.619	701.945 5		
总计	11	134 020.7			

表 5 回归系数

模型	Coefficients	标准误差	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%
常量	64.100 89	41.154 59	1.557 564	0.163 295	-33.214 2	161.416
飞行时间 x_1 /h	0.525 019	0.097 54	5.382 593	0.001 028	0.294 373	0.755 664
起落课目占比 x_2	-2.489 23	1.002 494	-2.483 04	0.042 022	-4.859 75	-0.118 71
月平均温度 x_3 /°C	1.531 706	0.837 845	1.828 15	0.010 244	-0.449 48	3.512 895
地面试车次数 x_4	2.629 615	0.990 61	2.654 541	0.032 725	0.287 194	4.972 036

得出：

$$\hat{\beta}_0=64.100\ 89, \hat{\beta}_1=0.525\ 019, \hat{\beta}_2=-2.489\ 23, \hat{\beta}_3=1.531\ 706, \hat{\beta}_4=2.629\ 615.$$

由此得到油料消耗量的预测模型为：

$$y=64.100\ 89+0.525\ 019x_1-2.489\ 23x_2+1.531\ 706x_3+2.629\ 615x_4.$$

3.3 假设检验

建立飞机油料消耗预测模型时，假设飞机油料消耗与各变量之间具有线性关系，但是否有线性关系需要进行假设检验。

由回归统计表中可以看出：复相关系数 $R=0.981\ 497$ ，决定系数 $R_2=0.963\ 337$ ，由相关系数来看回归方程高度显著。

在方差分析表中， $F=45.981\ 89$ ， $P=0.000\ 041\ 25$

表明：回归方程高度显著，说明 x_1, x_2, x_3, x_4 整体上都对 y 有高度线性关系。

回归系数的显著性检验。自变量 x_1, x_2, x_3, x_4 对 y 均有显著影响，其中， x_1 飞行时间的 P 值最小，线性关系最显著， x_3 飞行空域平均温度的 P 值为 0.11 最大，大于 $\alpha=0.05$ 置信度，线性关系不是很显著，但温度对油料消耗量属于次要因素，误差在此模型中可以忽略。

4 实例应用

4.1 实例预测

将 2019 年 1—6 月飞行时间测试样本输入预测模型中，得到油料消耗预测值。预测数据与原始数据及残差如表 6^[7]所示。