

doi: 10.7690/bgzd.2021.04.014

基于线性回归分析的陆军航空兵训练航材消耗预测

李 伟¹, 肖书成², 王建华¹, 余 扬³

(1. 陆军勤务学院研究生大队, 重庆 401311; 2. 陆军勤务学院勤务指挥系, 重庆 401311;
3. 中国人民解放军 63612 部队, 甘肃 酒泉 736200)

摘要: 为提高陆航部队航材保障决策质量, 对陆军航空兵训练航材消耗情况进行预测分析。以某陆军航空兵部队训练航材消耗为主要研究对象, 对直升机航材消耗的影响因素进行变量分析, 采用多元线性回归分析法, 建立直升机航材消耗量的预测模型, 应用最小二乘法估计模型参数, 通过直升机训练中航材消耗的历史数据, 对直升机训练中航材消耗量进行预测, 实例验证模型的有效性。结果表明, 多元线性回归分析法能较准确地预测直升机航材消耗量。

关键词: 多元线性回归分析法; 航材; 消耗预测

中图分类号: E911 **文献标志码:** A

Aviation Material Consumption Prediction of Army Aviation Training Based on Linear Regression Analysis

Li Wei¹, Xiao Shucheng², Wang Jianhua¹, She Yang³

(1. Brigade of Postgraduate, Army Logistics University of PLA, Chongqing 401311, China;
2. Department of Service Command, Army Logistics University of PLA, Chongqing 401311, China;
3. No. 63612 Unit of PLA, Jiuquan 736200, China)

Abstract: In order to improve the quality of aviation material support decision, the paper carry out predictions and analysis for the aviation material consumption of army aviation training. Taking certain army troops training material consumption as the main research object, the influence factors of materials consumption of helicopter variable analysis, using multiple linear regression analysis method, to establish the forecast model of helicopter material consumption, application of least square method to estimate model parameters, by helicopter training material consumption of historical data, the forecast helicopter training material consumption, to illustrate the effectiveness of the model. The results show that the multiple linear regression analysis method can accurately predict the helicopter aviation material consumption.

Keywords: multiple linear regression analysis method; aviation material; consumption prediction

0 引言

随着现代数学和计算机技术在军事领域的广泛应用, 军事预测分析得到了快速发展。运用军事定量分析预测装备的消耗量, 可揭示其运行发展的一般规律。装备管理人员掌握客观规律, 将有助于提前预测装备的消耗量, 保证持续供应保障。研究陆航直升机的装备保障工作需要有预见性和前瞻性, 运用现代分析法科学合理预测陆航部队训练航材的消耗量, 为推动陆航部队作战整体效能提升具有十分重要的意义^[1]。

直升机航材的消耗与诸多因素相关, 考虑多种因素变量对发生结果的影响, 整合成线性军事数学模型, 进行显著相关性预测。笔者主要运用多元线性回归分析法, 构建直升机训练航材消耗模型, 预测航材的消耗量。

1 影响因素分析

陆航部队直升机训练所需航材的消耗量受多种因素影响, 是随机变量。为了建立有效的训练航材消耗量预测模型, 首先必须对影响航材消耗量的因素进行分析, 找出主要影响因素。如图 1 所示, 影响直升机航材消耗的因素有飞行时间、航材件故障率、训练环境和航材件管理水平等 4 方面^[2]。

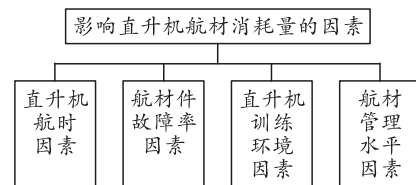


图 1 影响直升机航材消耗量的因素

1.1 飞行时间因素

目前我军陆航部队每年都有固定的飞行训练小

收稿日期: 2020-12-23; 修回日期: 2021-01-29

作者简介: 李 伟(1988—), 男, 四川人, 硕士, 从事军事后勤学、专业后勤保障研究。E-mail: 172981070@qq.com。

时，必须按照年度飞行训练计划完成相应的飞行小时总数，对于在规定时间内寿控件使用在直升机上时，直升机的飞行训练时长对航材的消耗量影响最大。同一种机型训练，飞行时间越长，航材消耗量越大；反之，航材消耗量越小^[3]。

1.2 航材故障因素

直升机航材的故障率是所有零部件出厂时的固有特性，与航材的制作材料、制造厂家以及结构都有密切相关性，是所有机械电气设备在投入使用过程中无法避开的问题。航材的故障率直接影响直升机航材的消耗量，某种航材的故障率越高，消耗量也越大；反之，消耗量越小^[4]。

1.3 训练环境因素

直升机的训练环境对航材的消耗量也会有影响：同机型在不同的训练环境下，航材的消耗各不一样，比如温度、湿度、气压、海拔、空气都会对航材消耗量有一定影响，其中温度的影响最为明显。以某陆航旅在四季训练为例，当在春秋季节温度适宜时，航材完好率较高，消耗量较小，但相比于在夏冬训练时，温度较低或者较高都会加快航材的损耗寿命，增加航材的消耗量。

1.4 航材管理因素

直升机的航材管理水平会对航材的消耗量产生影响，航材保管员是否按照航材管理规定对航材进行正常管理分类，能否按照要求对到寿件进行返厂维修，对航材的收发手续是否合规，对航材的相关履历本是否正常填写，对航材的管理储备是否符合要求，都会对航材的消耗量有一定影响^[5]。

根据 4 个影响因素建立航材消耗量化模型：飞行时间因素量化为飞行小时；航材故障率因素量化为百分比；训练环境因素量化为季节月平均温度；航材管理水平量化为评分制。

2 回归分析预测模型构建

通过上述分析可知，影响直升机的航材消耗量主要受飞行小时、故障率百分比、月平均温度以及管理水平的评分，使得直升机的年度航材消耗量在一定数值范围内波动。应用多元线性回归分析法，建立直升机训练航材消耗量的预测模型^[6]。

2.1 建立预测模型

假设某直升机旅某月训练航材消耗量为 y ，飞行小时为 x_1 ，故障率百分比为 x_2 ，月平均温度为 x_3 ，

管理水平的评分为 x_4 ，得出多元线性回归方程：

$$\begin{cases} y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + \varepsilon \\ \varepsilon \propto N(0, \sigma^2) \end{cases} .$$

式中： x_1, x_2, x_3, x_4 为自变量，且为确定性变量，均互不相关； y 为因变量，受随机干扰的影响，为一个随机变量，是预测的目标函数^[7]；常数 a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 为待定系数； ε 为误差纠正项，一般认为服从正态分布，用最小二乘法估计模型参数。

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

$$\begin{cases} y = a_0 + a_1x_{i1} + a_2x_{i2} + a_3x_{i3} + a_4x_{i4} + \varepsilon_i \\ \varepsilon_i \propto N(0, \sigma^2) \quad i=1, 2, \dots, n \end{cases} .$$

记：

$$\begin{aligned} X &= \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & x_{13} & x_{14} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & x_{23} & x_{24} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_{i1} & x_{i2} & x_{i4} & x_{i4} \end{bmatrix}, \quad Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}, \\ \varepsilon &= [\varepsilon_1 \quad \varepsilon_2 \quad \dots \quad \varepsilon_n]^T, \\ a &= [a_0 \quad a_1 \quad \dots \quad a_n]^T. \end{aligned}$$

则可以得到航材消耗量的预测模型为：

$$\begin{cases} Y = Xa + \varepsilon \\ \varepsilon_i \propto N(0, \sigma^2 E_n) \end{cases} .$$

其中 E_n 为 n 阶单位矩阵。建立上式的直升机训练航材消耗量的多元线性回归方程，即直升机训练航材消耗量预测模型。

2.2 参数估计

建立航材消耗量预测模型后，代入样本容量为 n 的样本值 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ ，对未知参数 a_0, a_1, a_2, a_4 进行估计。采用最小二乘法确定 a_0, a_1, a_2, a_4 的估计值。表 1、2 分别为 2018、2019 年某旅同一机型某种类航材训练消耗量与各变量的统计值。

表 1 2018 年某机型某类航材消耗量统计值

月份	飞行 时间/h	航材 故障率/%	平均 温度/℃	管理水平 百分制	航材 消耗件数
1	300	2	-6.0	96	6
2	341	4	0.6	97	7
3	280	3	10.0	95	5
4	450	6	17.0	92	8
5	605	8	21.0	94	11
6	675	1	25.0	96	14
7	714	3	27.0	99	16
8	432	4	25.0	95	7
9	582	5	21.0	97	10
10	367	9	14.0	98	8
11	630	5	4.0	99	13
12	480	7	-2.3	98	9

表 2 2019 年某机型某类航材消耗量统计值

月份	飞行时间/h	航材故障率/%	平均温度/℃	管理水平百分制	航材消耗件数
1	295	3	-5.5	97	6
2	330	9	0.5	96	5
3	268	4	8.0	98	6
4	462	2	15.0	99	10
5	608	8	21.0	95	12
6	702	6	23.5	96	14
7	736	7	25.0	98	15
8	466	4	26.0	99	10
9	560	7	22.0	95	11
10	355	2	14.0	98	7
11	685	1	4.5	97	14
12	456	5	-2.5	99	10

以该旅 N 架直升机的各项数据为样本库，将

表 5 回归分析汇总

数据模型	Coefficients	标准误差	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%
常量	-28.078 793	15.335 656	-1.830 948	0.109 793	-64.341 858	8.184 272
飞行时间/h	0.020 343	0.002 734	7.442 038	0.000 144	0.013 880	0.026 807
航材故障率/%	-9.397 030	11.929 708	-0.787 700	0.456 711	-37.606 307	18.812 247
平均温度/℃	0.001 880	0.034 977	0.053 753	0.958 633	-0.080 828	0.084 588
管理水平百分制	0.291 416	0.163 447	1.782 939	0.117 788	-0.095 074	0.677 906

通过数据仿真得出 a_0, a_1, a_2, a_4 的估计值： $\hat{a}_0=-28.078\ 793, \hat{a}_1=0.020\ 343, \hat{a}_2=-9.397\ 030, \hat{a}_3=0.001\ 880, \hat{a}_4=0.291\ 416$ 。由于实际航材管理的需要，管理水平百分制设定为 90~100 分，代入线性回归航材消耗量方程，得到直升机航材消耗量预测模型：

$$y=-28.078\ 793+0.020\ 343x_1-9.397\ 030x_2+0.001\ 880x_3+0.291\ 416x_4。$$

2.3 假设检验

通过本预测分析方法，建立直升机训练航材消耗量的预测模型时，先假设直升机航材消耗量与各变量之间具有线性关系，但实际是否存在显著的线性相关关系，需要进行假设检验：

1) 从数据统计表中可以看出：相关系数 $R=0.974\ 546$ ，决定系数 $R^2=0.949\ 739$ ，由相关系数判断回归预测模型效果显著。

2) 运算统计得到的方差分析表中， $F=33.068\ 469$ ，Significance $F=0.000\ 123$ 表明回归预测模型效果高度显著，由此判断出 x_1, x_2, x_3, x_4 整体上对 y 有显著线性关系^[8]。

3) 数的显著性检验。设定 4 个因素的自变量 x_1, x_2, x_3, x_4 对 y 均有显著影响，自变量 x_1 为飞行小时的 $P_1=0.000\ 144$ 值最小，线性关系最显著，即表明直升机训练时长对航材的消耗量最为明显； x_3 月

2018 年度 12 个月的飞行时间、航材故障率百分比、月平均温度和管理水平百分制 4 个因素，运用 Excel 数据仿真做出回归分析相关数据汇总，取置信度 $1-\alpha=0.95$ 得到如表 3—5 所示的结果。

表 3 回归分析统计

数据模型	Multiple R	R ²	Adjusted R ²	标准误差	观测值
2018 年度	0.974 546	0.949 739	0.921 019	0.954 920	12

表 4 方差分析

数据模型	df	SS	MS	F	Significance F
回归分析	4	120.616 893	30.154 223	33.068 469	0.000 123
残差	7	6.383 107	0.911 872		
总计	11	127			

平均温度的 $P_3=0.958\ 633$ 值最大，大于 $\alpha=0.05$ 置信度^[9]，线性关系最不显著，即气温影响航材的消耗量最不明显，得出的误差在此预测消耗模型中可以忽略不计。

3 实例分析

3.1 实例预测

将表 2 中的 2019 年 1—12 月飞行小时、航材故障率和管理水平百分制测试样本代入到预测航材消耗模型中，得到了航材消耗的预测值。预测消耗量与实际消耗量及残差如表 6 所示。

表 6 线性回归分析模型实际量与预测量数据

月份	实际消耗件数	预测消耗件数	残差
1	6	5.907 833	0.092 167
2	5	5.764 600	-0.764 600
3	6	5.556 018	0.443 982
4	10	9.981 916	0.018 084
5	12	11.222 509	0.777 491
6	14	13.614 107	0.385 893
7	15	14.794 631	0.205 369
8	10	9.875 348	0.124 652
9	11	10.340 015	0.659 985
10	7	7.513 799	-0.513 799
11	14	14.029 544	-0.029 544
12	10	9.577 948	0.422 052

3.2 结果分析

通过分析表 6 可以发现数据还有一定的残差出入，因在建立消耗预测模型初期对部分影响因素的分析不够细致，忽略了直升机机务人员保养频次、训练时空气质量等因素对航材消耗的影响。数据分

析结果表明：该模型预测该旅的直升机训练航材的消耗数据，能有效表达拟合性和预测性，利用该线性回归模型对直升机训练航材的消耗量预测可以很好地辅助决策。图 2、3 为该模型实际量与消耗量的线性拟合图和残差图。

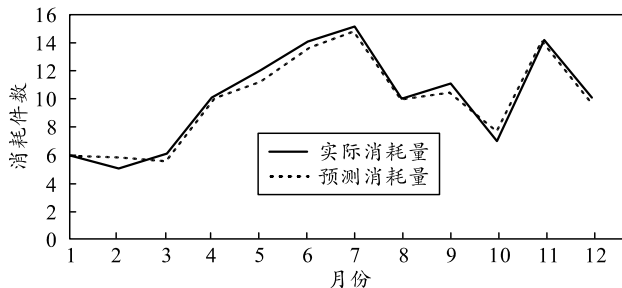


图 2 实际量与消耗量的线性拟合

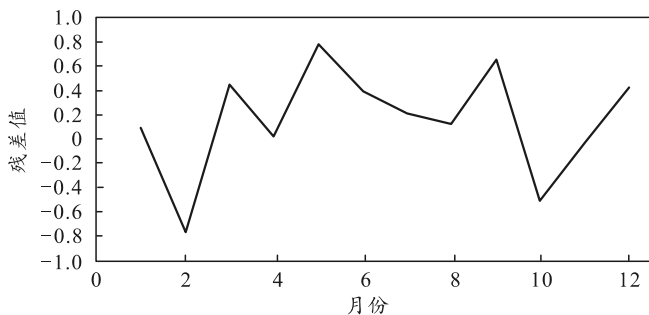


图 3 残差

4 结论

通过利用多元线性回归分析模型，能相对准确地预测直升机训练航材消耗量，从而前瞻性地预测

航材储备量，更加高效地提升航材的利用率，避免造成航材的过多堆积浪费，提高航材的保障效率，科学计划调拨航材量，对陆军航空兵装备保障梯队展开训练航材保障具有重要的指导和借鉴意义^[10]。

参考文献：

[1] 李铁民, 张明智. 军事定量分析方法[M]. 北京: 国防工业出版社, 2017: 22-28.

[2] 王梓行, 姜大立. 基于可靠的军事供应链网络节点重要度评估研究[J]. 军事运筹与系统工程, 2020, 34(2): 59-63.

[3] 肖金萍. 改进后装保障训练评估的思考[J]. 空军后勤, 2020, 103(1): 42-43.

[4] 吕彬, 肖振华. 军民融合式装备保障论[M]. 北京: 国防工业出版社, 2012: 7-10.

[5] 潘寒尽, 张德和. 信息化条件下陆航后勤保障力量建设思考[J]. 航空兵后勤, 2011, 6(1): 34-35.

[6] 张梁, 崔崇立, 贲徐伟, 等. 基于影响因素主成分分析的航材消耗预测模型[J]. 兵工自动化, 2016, 35(8): 50-54.

[7] 但琦, 吴松林. 军事数学模型[M]. 北京: 国防工业出版社, 2015: 85-89.

[8] PAUL J. SELVA. Joint Concept For Logistics[M]. US Government Printing Office, 2015: 12-14.

[9] RUSSELL S H. Supply Chain Management: More Than Integrated Logistics[J]. Air Force Journal of Logistics, 2007(2): 22-25.

[10] 王珺莹, 黄磊. 航材库存管理问题及对策研究[J]. 科技经济市场期刊, 2017, 16(2): 38-39.

统的设计[J]. 现代电子技术, 2019, 42(15): 13-16.

[9] 汤旺杰, 金华标, 李鹤鸣. 基于 CAN 冗余的船舶数据采集与远程监控系统[J]. 舰船科学技术, 2020, 42(5): 144-147.

[10] 江鹏程, 李志浩, 齐晓辉. 4G网络装备车辆远程监控系统[J]. 兵工自动化, 2020, 39(2): 24-27.

[11] 翟延忠, 翟宝蓉, 马强. 基于 STM32 的人机交互终端的设计[J]. 仪表技术与传感器, 2020(2): 105-109.

(上接第 32 页)

[6] 刘昌明, 时朵, 黄跃文, 等. 基于 CAN 总线的固定测斜仪数据采集系统设计[J]. 仪表技术与传感器, 2020(5): 53-57.

[7] 郝刚, 金涛. 基于 CAN 总线的船用动力锂电池控制系统设计[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2020, 39(4): 123-128.

[8] 李旭, 孟晨, 张晓良, 等. 某型高炮 CAN 总线检测系