

绝对式恒光源 24 位光电轴角编码器 在光电经纬仪上的应用

杨顺平,李大伟,王 黎

(91351 部队,辽宁 兴城 125106)

摘要:为满足某型光电经纬仪的使用要求,设计了某绝对式恒光源 24 位光电轴角编码器分系统。该编码器采用 16 位绝对式光学码盘,码盘刻划有粗码道、通圈码道、中精码道和精码道。精码道的线对数为 16 384(14 位)。方位和高低编码器的处理电路设计在一块电路板上,采用一片 DSP 为主机,6 个读数头输出 64 路码盘光电信号分别经放大整形、A/D 转换输入至 DSP。DSP 完成数据采集、细分、译码、校正等处理,把轴的转角转换成 24 位自然二进制角度代码输出和上传。使用情况表明:该编码器的光机结构布局合理、性能稳定,电路板和元器件少、操作简单、测角精度高,满足某型光电经纬仪对于编码器系统的要求,具有较高的实用价值。

关键词:光电经纬仪;绝对式编码器;码盘分辨率;光强补偿;光电信号

中图分类号:TP212;TN762

文献标志码:A

某型光电经纬仪是飞行试验的主要测量装备。完成对飞机起飞、着陆及中近程的航迹、速度、加速度和图像信息的高精度测量。根据某型光电经纬仪的工作性质、试验特点以及精度要求,编码器分系统采用绝对式恒光源 24 位光电轴角编码器(以下简称编码器),用于某型光电经纬仪的方位、高低角度测量,同时取代测速机实现数字测速。

该编码器是高精度的测角元件,采用在测量系统中应用广泛、技术成熟的绝对式结构,小型模块化结构设计,在保留原编码器测角精度高、稳定可靠的基础上,简化系统设计^[1-4],采用 DSP(TMS320F2812)为主控元件;处理电路采用结构化层次设计,更换灵活,有利于调试、维护;设计智能化调试、检测软件平台,实现对编码器工作状态的优化、清零预置、信号检测等功能;取消部分人工调整环节,所有功能(如:自动状态优化、清零预置功能、系统自检功能等)设定均由软件实现;关键部件采用冗余设计,能够自动诊断故障并及时进行隔离处理,满足某型光电经纬仪的参试参训需求。

1 组成及原理

1.1 系统组成

每台光电经纬仪包含 2 套编码器,即方位编码器和高低编码器。方位编码器和高低编码器的光机结

构相同,分别安装在光电经纬仪的垂直轴和水平轴上,由光学码盘、光源、光路、读数系统(由狭缝和光敏元件组组成)、轴系及固定结构等组成^[5-7]。方位编码器和高低编码器的处理电路集成在一块电路板上,由电源、差分放大电路、同相放大电路、反相放大电路、A/D 转换电路、DSP 数据处理电路、通讯电路和控制软件等组成,电路板与电源组成一个电箱安装在光电经纬仪主机的侧壁上,方位编码器和高低编码器的灯源电源安装在光电经纬仪主机的正面侧壁上。

1.2 工作原理

如图 1 所示,码盘固定在光电经纬仪的垂直轴和水平轴上,其余部分都在外壳上固定。当码盘相对外壳转动时,测出转角(水平轴编码器是码盘转动,垂直轴是外壳转动)。白炽灯发出的光分 3 路:第 1 路向上经聚光镜变成平行光,透过码盘的粗码道和粗狭缝,被光敏元件组(粗读数头)接收,读出粗码道数据并送入处理电路;第 2 路经聚光被左偏折光路转向 90°,再由直角棱镜向上转 90°透过精码道和精上狭缝,被精上光敏元件组(精上读数头)接收,读出一组精码数据并送入处理电路;第 3 路右偏折转向后透过精码道和精下狭缝,被精下光敏元件组(精下读数头)接收,读出精下数据并送入处理电路。采用精上和精下对径读数是为了消除码盘的偏心差。经译码、校正和加平均后,组合成粗狭缝位置读出的精确角度。

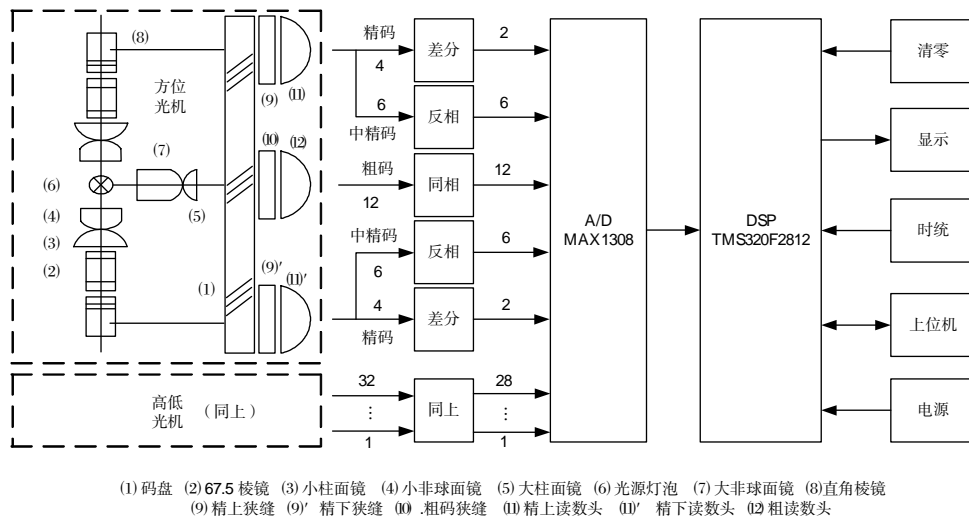


图1 编码器结构原理框图

Fig.1 Structure principle block diagram of the encoder

2 结构设计

2.1 光学机械系统

光学机械系统如图1虚线内所示。光源灯泡为特制的6V、15W白炽灯,灯源为恒光源;3路光学系统由聚光镜、棱镜、柱面镜、非球面镜等组成;光学码盘为16位绝对式码盘;3组读数系统拾取狭缝内的精码、中精码和粗码信号^[8-9]。

光学码盘是一个环形玻璃圆盘($\phi = 254\text{ mm}$),为了防止变形厚度比较厚($\delta = 12\text{ mm}$),中心穿过转轴(水平轴和垂直轴)。环的一面镀铬,利用光刻法码盘共刻划22圈同心码道(粗码道、中精码道采用格雷码刻划,精码道采用阶梯码刻划,线条边缘清晰、均匀),包括12圈粗码道(A1~A12)、1圈通圈码道(T)、6圈中精码道(G5、F1、F2、F3、J1、J2)和4圈精码道(G0、G90、G180、G270),A12与F2共用1圈码道。其中,精码道刻划到第14位,线对数16 384,角周期 $79.1''$ 。

码盘上码道信号分别由3个读数头读取,为了克服轴的晃动和码盘偏心造成的误差,采用2个读数头对径读取精码和中精码信号,一个读数头信号为G0、G90、G180、G270、G5、J1、J2、F1、F2、F3;另一个读数头信号为G0'、G90'、G180'、G270'、G5'、J1'、J2'、F1'、F2'、F3';第3个读数头信号为A1、A2、...、A12及T(本编码器的通圈T未采用)。

以上为一套编码器的光学机械系统采集的32路光电信号,方位编码器和高低编码器的光学机械系统共采集64路码盘光电信号并送入编码器的处理电路进行运算处理。

2.2 电学系统

编码器处理电路随码盘形式、码道刻划、细分方式的不同而各异。该编码器处理电路采用全数字化处理,侧重硬件向软件方向发展。放大后的精码、中精码、粗码信号经A/D输入接口送至DSP处理器,完成数据采集、比较、细分、译码、校正等处理,把轴的转角变成24位自然二进制代码输出并上传至综合控制器分系统^[10-13]。

2.2.1 精码处理电路

差分输入放大器(OP491)用于放大编码器精码信号。方位和高低编码器的精码光敏元件共输出16路精码信号,即方位精上:G0、G90、G180、G270,方位精下:G0'、G90'、G180'、G270',高低精上:G0、G90、G180、G270,高低精下:G0'、G90'、G180'、G270'。16路精码信号按正负函数经差分放大后消除偶次谐波和共模量,调节16路电位器WR的阻值,使差分输入放大器输出的8路正弦波(方位: $\sin\theta$ 、 $\cos\theta$ 、 $\sin\theta'$ 、 $\cos\theta'$,高低: $\sin\theta$ 、 $\cos\theta$ 、 $\sin\theta'$ 、 $\cos\theta'$)电压为 $\pm 4\text{V}$,要求正负幅值对称相等。放大后的8路精码信号由MAX1308完成A/D转换直接送入DSP。DSP首先把精码(或上或下)信号进行细分插补计算,得到精上(或精下)的二进制码。

本编码器采用单片机细分法,单片机利用差分放大后的2个函数细分、判断象限、方向和 θ 角范围。其中,单片机细分原理如式(1)~(3)所示,若第I象限细分使用 T_{n1} 代表, T_n 代表任意细分值, n 代表细分分数(插补系数),本编码器 $n = 1024$ 。

$$T_n = T_{n1} + D_K; \quad (1)$$

$$D_K = \begin{cases} 0 & K=1 \text{ 第 I 象限} \\ \frac{n}{4} & K=2 \text{ 第 II 象限} \\ \frac{n}{2} & K=3 \text{ 第 III 象限} \\ \frac{3n}{4} & K=4 \text{ 第 IV 象限} \end{cases}; \quad (2)$$

$$T_{n1} = \begin{cases} \frac{n}{2\pi} \arctan \left| \frac{\sin \theta}{\cos \theta} \right| & 0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{4} \\ \frac{n}{8} & \theta = \frac{\pi}{4} \\ \frac{n}{4} - \frac{n}{2\pi} \arctan \left| \frac{\cos \theta}{\sin \theta} \right| & \frac{\pi}{4} = \theta \leq \frac{\pi}{2} \end{cases}。 \quad (3)$$

2.2.2 中精码、粗码处理电路

反相输入放大器(OP491)用于放大编码器中精码信号。方位和高低编码器的精码光敏元件输出24路中精码信号,即方位精上:G5、J1、J2、F1、F2、F3,方位精下:G5'、J1'、J2'、F1'、F2'、F3',高低精上:G5、J1、J2、F1、F2、F3,高低精下:G5'、J1'、J2'、F1'、F2'、F3'。调节24路电位器WR的阻值,使24路中精码输出信号的幅值临界饱和(+5V)。24路中精码经反相输入放大器单路放大后由MAX1308完成A/D转换直接送入DSP。DSP完成数据采集、译码和校正等处理。

同相输入放大器(LM124)用于放大编码器的粗码信号。方位和高低编码器的粗码光敏元件共输出24路粗码信号,即方位:A1、A2、...、A12,高低:A1、A2、...、A12。24路粗码信号经同相输入放大器单路放大后由MAX1308完成A/D转换直接送入DSP。DSP完成数据采集、译码和校正等处理。

2.2.3 代码校正

由于工艺上的原因,不可避免地在各码位上出现偏差。特别是码道内圈,由于刻划半径小,同样的切线方向误差,反映到内圈,误差就大。设计码盘时,在适当位置将码道分为精码和粗码。外圈取精码,再经过其他精化措施,确保其精度。校正逻辑用比较精确的码道作标准,来发现并修正各粗码码道端面偏差,即代码校正(奇偶校正原理)^[14-16]。

该编码器的中精码码道和粗码码道采用格雷码刻划,共17圈,输出位数13位。DSP首先把精码(或上或下)信号进行细分插补计算(1024份),得到精上(或精下)的二进制码;第2项DSP采集中精码,把格雷码译成自然二进制码,精上数码对精上中精码校正(根据奇偶校正原理),精上数码与校正后的精上中精码组合得到精上数据,精下数码对精下中精码校正(根据奇偶校正原理),精下数码与校正后的精下中精

码组合得到精下数据,精上、精下数据相加求出平均值(精读数);第3项DSP采集粗码,把格雷码译成自然二进制码,精上数据对粗码校正(比较判别法)得到校正后的粗读数,最后精读数、校正后的粗读数组合成完整的24位自然二进制代码(2^{23} , 2^{22} , 2^{21} , ..., 2^2 , 2^1 , 2^0 ,最小分辨率是 $\frac{360^\circ}{2^{24}} = 0.07724''$)。

2.2.4 光强自动补偿处理电路

维持光源发光强度长期稳定,是解决编码器系统经久耐用的重要环节^[17]。采用光强自动补偿技术可以起到与稳定发光强度同样的效果。

方位、高低编码器输出的16路精码信号采用差分输入放大器进行放大起到了光强自动补偿作用。输出的48路中精码、粗码信号经单路放大后全部通过A/D转换器,DSP采集各路变化的数字值后通过式(4)计算出各路信号的比较电压 V_s ,再将 V_s 与对应的中精码、粗码信号的数字值进行比较得到占空比1:1的方波,该方波高低电平变化准确反映了码道亮暗区变化。当白炽灯亮度改变时,由人工进行整定,DSP重新计算各路信号的比较电压 V_s 并比较,解决了光强自动补偿问题。其中,比较电压 V_s 为:

$$V_s = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{3} + V_{\min}。 \quad (4)$$

通常,中精码、粗码信号的比较电压 V_s 设定为各路电压峰值的1/3。

3 该编码器与传统编码器的比较

3.1 光机部分优势

光源采用白炽灯照明方式,白炽灯发出的光经光学系统后为码盘照射提供了光通量高、直线性好的光线。同时,白炽灯降压使用,提高了使用寿命,其亮度通常随着使用时间增长逐渐下降,发生突灭的故障概率较小。当光源亮度下降或照度不均匀时,导致光电经纬仪抖动或飞车,可以通过参数整定程序,在短时间内迅速排除编码器故障,确保光电经纬仪的应急需要。

光敏二极管组件的偏置电压分别采用+12V、-12V、±12V,使码盘光电信号的输出幅度得到增大,有利于信号调整和后续电路的处理,提高了编码器的测角精度。同时,粗码信号因幅值升高而且离散性低,取消了电位器调节各信号。

3.2 电路设计简单

该编码器的处理电路采用大规模集成芯片,电路设计合理,自适应能力强。同时,去掉了粗码电位器

调节和中精码、粗码信号的比较鉴幅器及锁存器。与传统处理电路相比,减少了大约 65% 以上的元器件,电路板由原来的 6 块减少到 1 块(165 mm×160 mm),方便电路检查维护,降低了发生故障的概率。

3.3 调试环节减少

该编码器的处理电路采用全 A/D 化设计,精码、中精码、粗码信号放大后全部通过 A/D 转换送至 DSP。采用软件根据各路信号的电流强度不同自动计算各路信号的比较电平,人工只需要调整精码和中精码输入信号,减少了调整粗码输入信号、电平调整、固定电平和中精码、粗码信号与通圈、固定电平的比较环节,提高了参数调整精度。可以根据环境的变化定期进行参数整定,提高系统的可靠性和通用性。

3.4 提高处理能力

单片机是编码器电路系统的核心部分,选用 DSP (TMS320F2812) 为主机^[18],具有运算精度高、速度快、使用灵活以及集成度高等优点,该编码器稳定输出数据小于 30 μs。

3.5 实现智能化管理

编码器分系统、主控计算机分系统与综合控制器分系统进行串行通讯。可以通过主控计算机分系统完成编码器标校,如方位、俯仰的置数。同时主控计算机分系统对编码器输出的方位角度值和高低角度值进行记录,可以分析、判断编码器工作状态,如编码器的进位、跳码、错码等故障。

4 结论

本文根据试飞要求设计了某型光电经纬仪编码器分系统。该编码器的光机部分采用白炽灯光源,绝对式码盘和提高读数头的偏置电压,为电控部分提供了理想、稳定的码道波形,有利于提高测角精度;电控部分采用 OP491 和 LM124 作为差分、反相、同相放大器对精码、中精码和粗码原始光电信号进行放大整形,采用 A/D 转换器 MAX1308 和 DSP 处理器 TMS320F2812 对放大整形信号进行处理,获得 24 位的角分辨率,提高了运算速度,减少了电路体积;重要参数整定技术,可以快速排除光电经纬仪初期发生的“抖动或飞车”故障或延长光电经纬仪的工作状态,确保光电经纬仪完成跟踪测量任务。近年来,该编码器除更换过白炽灯泡、重调码道信号和重要参数整定外未出现过其他任何故障或隐患,实现在角速度、角加速度作用下高精度输出数据,满足某型光电经纬仪的测角测速要求,得到用户一致好评,具有广泛的推广

价值。

参考文献:

- [1] 赵长海,万秋华,梁立辉,等. 小型高精度航天级光电编码器[J]. 电子测量与仪器学报,2015,29(8):1224-1230. ZHAO CHANGHAI, WAN QIUHUA, LIANG LIHUI, et al. Small high precision aerospace photoelectric encoder [J]. Journal of Electronic Surveying and Instrument, 2015, 29(8): 1224-1230. (in Chinese)
- [2] 赵学颜,李迎春. 靶场光学测量[M]. 北京:装备指挥技术学院,2001:23-85. ZHAO XUEYAN, LI YINGCHUN. Optical range measurement[M]. Beijing: Equipment Command Technical College, 2001: 23-85. (in Chinese)
- [3] 李逸楠,孙丽君,孙凤鸣,等. 基于 TMS320F28335 的绝对式光电编码器驱动设计[J]. 科技与创新,2017(5):23-24. LI YINAN, SUN LIJUN, SUN FENGMING, et al. Design of absolute photoelectric encoder driver based on TMS320F28335[J]. Technology and Innovation, 2017 (5): 23-24. (in Chinese)
- [4] 肖作江. 24 位绝对式光电轴角编码器的研究[D]. 长春: 长春理工大学,2003. XIAO ZUOJIANG. Research on 24-bit absolute photoelectric shaft angle encoder[D]. Changchun Changchun University of Science and Technology, 2003. (in Chinese)
- [5] 吴凡,刘恩海,方玉廷. GBJ280 高精度绝对式光电轴角编码器[J]. 光电工程,2000,27(6):62-65. WU FAN, LIU ENHAI, FANG YUTING. GBJ280 high precision absolute photoelectric shaft angle encoder[J]. Photoelectric Engineering, 2000, 27(6): 62-65. (in Chinese)
- [6] 赵长海,万秋华,余容红,等. 24 位绝对式光电编码器数据采集系统[J]. 半导体光电,2010,33(3):468-471. ZHAO CHANGHAI, WAN QIUHUA, SHE RONGHONG, et al. 24 bit absolute photoelectric encoder data acquisition system[J]. Semiconductor Optoelectronics, 2010, 33(3): 468-471. (in Chinese)
- [7] 陈艳,李太平,朱江辉. 基于 CPLD 的编码器数据采集装置研究[J]. 电子测试,2016(1):19-21. CHEN YAN, LI TAIPING, ZHU JIANGHUI. Research on data acquisition device of encoder based on CPLD[J]. Electronic Test, 2016(1): 19-21. (in Chinese)

- [8] 卢新然,宋路,万秋华. 红外光源参数对光电编码器信号的影响[J]. 红外与激光工程,2017,46(9):224-229.
LU XINRAN, SONG LU, WAN QIUHUA. Influence of infrared light source parameters on photoelectric encoder signal[J]. Infrared and Laser Engineering, 2017, 46(9): 224-229. (in Chinese)
- [9] 陈盛,彭东林,王淑娴,等. 基于时栅传感技术的高分辨力磁编码器设计与研究[J]. 组合机床与自动化加工技术,2018(4):66-69.
CHEN SHENG, PENG DONGLIN, WANG SHUXIAN, et al. Design and research of high resolution magnetic encoder based on time gate sensing technology[J]. Modular Machine Tool and Automated Machining Technology, 2018(4):66-69. (in Chinese)
- [10] 赵波,宋明. 绝对式光电编码器关键技术研究[J]. 科技传播,2015(19):156-157.
ZHAO BO, SONG MING. Research on the key technology of absolute photoelectric encoder[J]. Science and Technology Communication, 2015(19):156-157. (in Chinese)
- [11] 李长春,谭广通,李霁. 基于TMS32DF2812的编码器电子学设计与实现[J]. 电子测试,2013(5):31-33.
LI CHANGCHUN, TAN GUANGTONG, LI JI. Design and implementation of encoder electronics based on TMS32DF2812[J]. Electronic Test, 2013(5):31-33. (in Chinese)
- [12] 刘泉,杜颖财. 小型绝对式光电轴角编码器电路优化设计[J]. 重庆邮电大学学报:自然科学版,2013,25(6):768-722.
LIU QUAN, DU YINGCAI. Circuit optimization design of miniature absolute photoelectric shaft angle encoder [J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications: Natural Science Edition, 2013, 25(6): 768-722. (in Chinese)
- [13] 赵波. 基于DSP的绝对式光电编码器设计[J]. 新媒体研究,2015(11):30-31.
ZHAO BO. Design of absolute photoelectric encoder based on DSP[J]. New Media Research, 2015(11):30-31. (in Chinese)
- [14] 苏小刚,胡晓东,肖茂森,等. 单圈绝对式光电轴角编码器译码技术[J]. 红外与激光工程,2017,46(4):192-197.
SU XIAOGANG, HU XIAODONG, XIAO MAOSEN, et al. Single ring absolute photoelectric shaft angle encoder decoding technology[J]. Infrared and Laser Technology, 2017, 46(4): 192-197. (in Chinese)
- [15] 邱静,韩彬,石洪. 绝对式光电编码器译码技术研究[J]. 电子质量,2017(12):1-5.
QIU JING, HAN BIN, SHI HONG. Research on absolute photoelectric encoder decoding technology[J]. Electronic Quality, 2017(12):1-5. (in Chinese)
- [16] 于海,万秋华,梁立辉,等. 小型光电编码器动态误差检测[J]. 北京理工大学学报,2015,35(10):1090-1095.
YU HAI, WAN QIUHUA, LIANG LIHUI, et al. Dynamic error detection for small photoelectric encoder[J]. Journal of Beijing Institute of Technology, 2015, 35(10): 1090-1095. (in Chinese)
- [17] 姜志宏,姜晓梅,张宇,等. 24位光电轴角编码器处理电路硬件设计[J]. 东北师大学报:自然科学版,2006,38(3):21-25.
JIANG ZHIHONG, JIANG XIAOMEI, ZHANG YU, et al. Hardware design of 24-bit photoelectric shaft Angle encoder processing circuit[J]. Journal of Northeast Normal University: Natural Science Edition, 2006, 38(3): 21-25. (in Chinese)
- [18] 杨宁,万秋华,张泽宇,等. 基于TMS320F2812的高精度编码器电路设计[J]. 长春理工大学学报:自然科学版,2010,33(2):25-27.
YANG NING, WAN QIUHUA, ZHANG ZHEYU, et al. High precision encoder circuit design based on TMS320F2812[J]. Journal of Changchun University of Posts and Telecommunications: Natural Science Edition, 2010, 33(2): 25-27. (in Chinese)

Application of 24 Bit Photoelectric Shaft Angle Encoder With Absolute Constant Light Source In Photoelectric Theodolite

YANG Shunping, LI Dawei, WANG Li

(The 91351st Unit of PLA, Xingcheng Liaoning 125106, China)

Abstract: In order to meet the requirements of a photoelectric theodolite, a 24-bit photoelectric shaft angle encoder code subsystem of an absolute constant light source was designed. The encoder uses 16-bit absolute optical encoder, the code plate is engraved with coarse code, through the circle code, in the precision code and precision code, the line logarithm of the precision code is 16384 (14 bits). The processing circuit of the azimuth and high-low encoder was designed on a circuit board. Using a piece of DSP as the host, the 64 channel code plate photoelectric signals output by 6 reading heads were respectively input to DSP through amplification shaping and A/D conversion. DSP completes data collection, subdivision, decoding, correction and other processing, the shaft angle into 24 natural binary angle code output and upload. Usage indicated: that the structure and layout of the optical machine of the encoder were reasonable, the performance was stable, the circuit board and components were few, the operation was simple, the angle measurement precision was high, which met the requirements of a certain type of photoelectric theodolite for the encoder system. It has higher practical value.

Key words: photoelectric theodolite; absolute encoder; code disk resolution; light intensity compensation; photoelectric signal

(上接第238页)

Maintenance Request Prediction for Aviation Equipment Based on the Maintenance and Support Data

CAI Fuqing^{1,2}, WANG Ge², ZHONG Dao³

(1. Naval Aviation University, Yantai Shandong 264001, China;

2. Institute of Naval Equipment Technology, Beijing 102442, China;

3. Graduate School of National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Aircraft maintenance activity is an important part of naval aviation equipment management. But it is difficult to apply the method of forecasting maintenance demand based on the assumption of classical large sample and general distribution model. The main factors which influenced the maintenance demand aiming at prediction of aircraft maintenance demand was identified. Then, the degree of damage and the capability of fault detection was established based on the accumulated data about maintenance and support of naval aviation equipment using the data-driven approach. And finally the forecasting model of maintenance demand was established. Based on this, the maintenance demand forecasting result was obtained to analyze the result error and verify the feasibility of method.

Key words: aviation equipment; flight intensity; maintenance; request prediction; multivariate model