

主战飞机大修生产线能力评估方法

刘斌¹, 陈云翔², 蔡忠义², 车飞³

(1. 空军装备部, 北京 100843; 2. 空军工程大学装备管理与安全工程学院, 西安 710051;

3. 中国人民解放军第93802部队, 陕西 武功 712201)

摘要: 针对航空修理工厂大修生产线能力难以评估的问题, 首次提出了主战飞机大修生产线能力评估方法。分析了飞机大修生产过程及其工作要点; 根据飞机大修生产工作特点, 建立了飞机大修生产线能力评估指标体系; 运用信息熵理论和灰色系统理论, 构建出基于熵权和灰色聚类的评估指标赋权模型; 结合实例验证了方法的创新性和正确性。

关键词: 主战飞机; 大修生产线; 能力评估; 指标体系; 熵权; 灰色聚类

中图分类号: V267 文献标志码: A 文章编号: 1671-637X(2015)04-0088-04

A Method for Evaluating the Capability of Main-Battle Aircraft Overhaul Production Line

LIU Bin¹, CHEN Yun-xiang², CAI Zhong-yi², CHE Fei³

(1. Equipment Department of the Air Force, Beijing 100843, China; 2. Materiel Management & Safety Engineering College,

Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China; 3. No. 93802 Unit of PLA, Wugong 712201, China)

Abstract: It is usually difficult to evaluate the capability of an overhaul production line of an aviation overhaul depot. We put forward a method for capability assessment of military aircraft overhaul production. The process and key points of aircraft overhaul production are analyzed, and an index system for capability assessment is built up based on the characteristics of aircraft overhaul production. The evaluation index weighting model is constructed based on entropy weight and grey cluster by using the theory of information entropy and grey system. The applicability and validity of the method is verified by an actual example.

Key words: main-battle aircraft; overhaul production line; capability assessment; index system; entropy weight; grey cluster

0 引言

军用飞机大修是指按照技术标准对飞机进行全面恢复技术状态的修理, 是飞机装备最高等级的、技术最复杂的修理^[1]。随着航空装备的快速发展和三代机批量修理工作的全面展开, 飞机修理将呈现出“品种多、批量集中、发展不均衡”的格局, 如何评估现有主战飞机的大修能力, 以便进一步深化改革、消除瓶颈, 最大限度挖掘大修厂修理潜能, 科学论证未来大修厂建厂建线能力需求是当前亟需解决的问题。

目前国内对于大修生产能力评估方面研究所见甚少, 但相关或相似领域的研究可为本文的研究提供参

考。文献[2]对航空装备大修质量评价开展了研究, 但所构建的评价指标过于模糊, 适用性不强; 文献[3]采用模糊 AHP 方法对雷达装备大修能力进行评估, 但其指标赋权过于主观, 难以保证指标赋权结果的客观合理; 文献[4-6]对装备维修保障能力或效能评估进行了研究, 其指标体系构建和指标赋权方法可以为本文的研究提供一定的参考。

基于上述考虑, 本文在调研和统计分析的基础上, 运用先进的管理理论、生产管理控制技术、综合评价方法等, 提出主战飞机大修生产线能力评估方法, 为科学评估大修生产线能力提供了一种行之有效的途径。

1 飞机大修生产过程分析

飞机大修生产过程是指对大修的航空装备从进厂到修复出厂期间所进行的一整套生产技术活动^[1], 具体步骤如图 1 所示。

收稿日期: 2014-05-22

修回日期: 2014-07-06

基金项目: “十二五”国防预先研究项目(51327020104)

作者简介: 刘斌(1973—), 男, 湖南桃源人, 硕士, 工程师, 研究方向为装备维修保障。

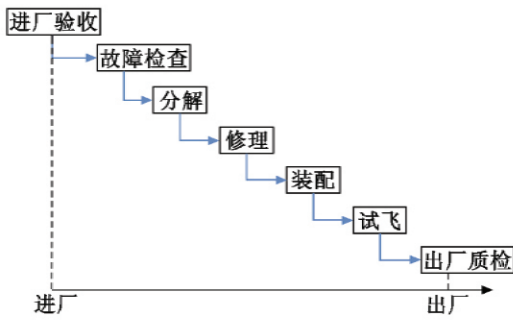


图1 飞机大修生产流程

Fig.1 Flow of aircraft overhaul

飞机大修生产流程主要包括以下几个步骤。

- 1) 进厂验收。送修的航空装备到厂后,部队向工厂移交,工厂组织验收检查,查明待修装备的完整性和技术状况。
- 2) 故障检查、分解。包括分解前整机故障检查,初步分解后的部附件故障检查和最终分解后的零件故障检查。
- 3) 修理。对磨损、变形、裂纹、腐蚀、损伤等不合

格的航空装备机体结构和零部件,有修复价值的,按照修理工艺规程实施修理,或按规定进行改装。

4) 装配。将可用机件、修复机件和更换机件重新相互定位和连接,一般是先进行部件装配,后进行整机装配并进行调试、试验和校准。

5) 试飞。修理后的飞机在地面检查、试验后,按规定的试飞提纲进行空中试飞,检查飞行性能,全面检验飞机修理质量。

6) 出厂质检。依据有关标准对航空装备大修后的质量进行检验,并对运输出厂的航空装备进行内、外部油封、包装和装箱。

2 飞机大修生产线能力评估指标体系

根据飞机大修生产工作实际,综合考虑飞机装备特点及机体构成等,从修理任务、修理质量、修理资源配置这3方面来建立一级指标,并进一步细化分解为可定量描述的二级指标,从而构建出结构合理、体系完善的飞机大修生产能力评估指标体系(见表1)。

表1 飞机大修生产线能力评估指标体系

Table 1 Index system of capacity evaluation for aircraft overhaul production line

一级指标	二级指标	指标描述
修理任务 C1	修理量 C11	飞机大修生产线年实际修理架数
	产能符合率 C12	大修生产线年修理实际架数/设计产能
	大修周期 C13	飞机从故检分解日起到出厂日止,所经历的实际工作天数
	在厂周期 C14	飞机从接收日起到出厂日止,所经历的实际工作天数
	延迟出厂架数 C15	当年未按期交付出厂的飞机架数
	部附件按期修竣率 C16	在规定时间内完成修理的部附件数/部附件修理总数
	外委件修理周期 C17	外委件送修时间之和/送修件数
	落实加改装时限 C18	落实加改装项目所用时间之和/加改装项目总数
修理质量 C2	返工率 C21	统计各修理阶段的返工情况
	人为差错率 C22	统计各修理阶段的每万工时发生的差错次数
	一次提检合格率 C23	在报告期内一次提交检验合格数占检验总数百分比
	周检合格率 C24	所用计量器具在周期检定中的合格数与检定总数的比率
	试飞顺利合格率 C25	在报告期内试飞顺利合格数占总数百分比
	大修质量问题服务率 C26	每百飞行小时技术服务次数
修理资源配置 C3	质量事故(症候)万时率 C27	大修质量问题导致的事故万时率/事故征候万时率
	机位占用率 C31	统计当年主厂房内各机位被占用情况
	工装设备利用率 C32	主要工装设备的实际工作时间/其制度工作时间
	工装设备完好率 C33	统计时刻工装设备完好台数与总台数的比率
	工时利用率 C34	工作时间内的实际生产工时/在册工人制度生产工时

1) 修理任务。

修理任务是从满足飞机大修需求的角度来反映飞机大修生产线能力水平。按飞机机体结构划分,可分为整机修理和部附件修理。

① 整机修理:主要是通过年修理量、产能符合率、大修周期、在厂周期、延迟出厂架数、修理周期等指标来体现大修能力。

② 部附件修理:主要是通过部附件按期修竣率、外委件修理周期、落实加改装时限等指标来体现大修

能力。

2) 修理质量。

修理质量是从“效果”的角度来反映飞机大修生产能力水平。按阶段划分,修理质量可分为修理过程质量和售后服务情况。

① 修理过程质量:主要通过测量或检验各个修理阶段的返工率、人为差错率、一次提检合格率、周检合格率、试飞顺利合格率等指标体现出来。

② 售后服务情况:一般用大修质量问题服务率、

质量事故(症候)万时率来度量。

3) 修理资源配置。

修理资源是指实施飞机大修生产过程中所涉及到的基础设施、工装设备以及人力等,是飞机大修生产活动中的重要“投入”。一般用主厂房(机位)、工装设备和工时这 3 类资源要素的利用率或完好率来衡量。

3 基于熵权和灰色聚类的指标赋权模型

对于多个备选方案,不仅要各个备选方案的信息集结为一个定量的指标,而且要将多个专家的赋权结果最终集结为群体赋权的结果^[7-8]。因此,本文提出了一种将信息熵赋权和灰色关联聚类赋权相结合的多指标赋权模型。

3.1 群组灰色聚类分析

假设在某个准则下,由 m 个专家组成的专家群对 n 个评估指标组成的评估对象集进行评价。已知专家 k 给出的判断矩阵为 A^k ,经归一化处理后,得到评估对象集的排序向量为 $U^k = (u_1^k, u_2^k, \dots, u_n^k)^T$,其中

$$u_i^k = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

$$w_i = \left(\prod_{j=1}^n a_{ij}^k \right)^{\frac{1}{n}} \quad (2)$$

由专家群给出的判断矩阵经归一化处理得到的排序向量可以构造出矩阵 $R = [U^1, U^2, \dots, U^m]$ 。对于任意两个专家 i 与 j 给出的排序向量 U^i 与 U^j ,用灰色系统理论中的灰色关联度^[9]来度量专家之间给出的判断信息的相似程度,即 $U^i, U^j (i \leq j)$ 之间的灰色绝对关联度 e_{ij} 为

$$e_{ij} = \frac{1 + |s_i| + |s_j|}{1 + |s_i| + |s_j| + |s_i - s_j|} \quad (3)$$

式中

$$|s_i| = \left| \sum_{k=2}^{n-1} u_k^i + \frac{1}{2} u_n^i \right| \quad (4)$$

取定阈值 $\theta \in [0, 1]$,当 $e_{ij} \geq \theta (i \neq j)$ 时,就可以认为 U^i, U^j 具有同类特性,即专家 i 与 j 可以聚为一类。当阈值 θ 越接近 1,则专家群组的分类就越细。

3.2 基于熵权的指标赋权分析

群组中专家权重分为两方面:一是意见相近的专家聚为同一类的类间权重;二是专家自身所在的类别的类内权重。

1) 类间权重。

假设 m 个专家被分为 t 类且专家 k 所在类中包含 $\varphi_k (\varphi_k \leq m)$ 个专家,则记 λ_k 为专家 k 所在类的类间权重,则有

$$\lambda_k = \frac{\varphi_k^2}{\sum_{k=1}^t \varphi_k^2} \quad k = 1, 2, \dots, t \quad (5)$$

2) 类内权重。

根据信息论中对信息熵的描述^[10], m 个专家组成的群组中专家 k 的排序向量所蕴含的信息熵可以表示为

$$H(k) = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n u_i^k \ln u_i^k \quad (6)$$

设 α_k 为专家 k 所在类的类内权重,则可表示为

$$\alpha_k = \frac{1 - H(k)}{\sum_{k=1}^m [1 - H(k)]} \quad (7)$$

则专家群中专家 k 的总权重 η_k 可表示为

$$\eta_k = \lambda_k \cdot \alpha_k \quad (8)$$

因此,评估对象集中各个指标权重所组成的权重向

$$\text{量可以表示为 } W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_1^1 & u_1^2 & \cdots & u_1^m \\ u_2^1 & u_2^2 & \cdots & u_2^m \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ u_n^1 & u_n^2 & \cdots & u_n^m \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \\ \vdots \\ \eta_m \end{bmatrix} \quad (9)$$

通过上述指标赋权模型,可求出飞机大修生产能力评估指标体系中各级指标权重。

4 基于线性加权的指标集结模型

通过对待评估飞机大修厂的调研,收集相关评估指标信息后,获取各个二级指标经一致化和无量纲化处理^[11]后的评估值 $C_{ij} (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$,提出采用线性加权法对各级指标向上一级进行集结,即

$$C = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n w_i w_{ij} C_{ij} \quad (9)$$

式中: w_i 为一级指标权重; w_{ij} 为对应的二级指标权重; C 为大修生产能力评估值。

5 实例分析

根据本文所提出的主战飞机大修生产线能力评估方法,对分布在不同地域的某主战飞机的 3 个大修厂 A, B, C 的大修生产线能力进行评估。

引用文献[8]中的算例来对上述指标体系中“修理资源配置”的 4 个二级指标进行评价,可得 4 个二级指标的权重向量为 $W = [0.63 \quad 0.10 \quad 0.12 \quad 0.15]$,同理,可求得其他指标的权重(见表 2)。

通过对待评估大修厂的调研,根据所收集到的相关指标信息,经指标类型的一致化和无量纲化后,得到各厂的二级指标评估值(见表 2),由式(9)将各级指标评价信息集结为最终的飞机大修生产线能力评估值。

表2 飞机大修生产线能力评估指标信息集结
Table 2 Index information integration of capacity evaluation for aircraft overhaul production line

一级指标		二级指标		A厂	B厂	C厂
代码	权重	代码	权重			
C1	0.42	C11	0.18	0.26	0.34	0.40
		C12	0.08	0.33	0.33	0.34
		C13	0.16	0.43	0.26	0.32
		C14	0.17	0.33	0.34	0.34
		C15	0.11	0.32	0.33	0.35
		C16	0.10	0.36	0.32	0.32
		C17	0.09	0.33	0.31	0.36
		C18	0.11	0.34	0.28	0.38
C2	0.34	C21	0.19	0.34	0.34	0.32
		C22	0.13	0.32	0.33	0.35
		C23	0.16	0.32	0.33	0.35
		C24	0.17	0.31	0.33	0.36
		C25	0.11	0.32	0.33	0.35
		C26	0.11	0.36	0.32	0.32
		C27	0.13	0.33	0.31	0.36
C3	0.24	C31	0.63	0.34	0.34	0.32
		C32	0.10	0.36	0.32	0.32
		C33	0.12	0.34	0.31	0.35
		C34	0.15	0.28	0.33	0.39
大修生产能力评估值				0.331	0.324	0.345

从表2可以看出,C厂的大修生产线能力总体最强,B厂大修生产能力线最弱。因此,为提升该型飞机的大修能力,应重点加强B厂的能力建设。

6 结论

针对目前空军航空修理工厂大修生产能力难以评估的问题,本文首次提出了军用飞机大修生产线能力评估方法,建立了结构合理、体系完善的评估指标体系,构建了基于熵权和灰色聚类的指标赋权模型和基于线性加权的指标集结模型,并结合实例分析,验证了方法的创新性和正确性,说明本文方法具有较好的工程应用价值,对于指导未来空军航空装备修理系统能力建设具有重要的指导意义。

参考文献

[1] 中国空军百科全书编审委员会. 中国空军百科全书[M]. 北京:航空工业出版社,2005. (China Air Force Encyclopedia Compiling Committee. China air force encyclopedia[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2005.)

[2] 徐吉辉,杨斌,邱健. 基于模糊综合的航空装备大修质

量评价研究[J]. 航空维修与工程,2010(2):227-230. (XU J H, YANG B, QIU J. Study on quality evaluation of aviation materiel overhaul based on fuzzy integration[J]. Aviation Maintenance and Engineering, 2010(2):227-230.)

[3] 黄晓军. 运用模糊 AHP 的雷达基地级修理能力综合评估[J]. 空军雷达学院学报,2008(2):87-89. (HUANG X J. Comprehensive evaluation of radar base-level repair capacity by using fuzzy AHP[J]. Journal of Air Force Radar College, 2008(2):87-89.)

[4] 齐健,王新阁,郑刚. 航空兵飞机团机务保障能力评估指标体系[J]. 装备制造技术,2010(4):139-141. (QI J, WANG X G, ZHENG G. Maintenance support capacity index system of air regiment[J]. Materiel Produce Technology, 2010(4):139-141.)

[5] 刘长泰,杜晓明,李锋. 装备维修保障效能评估指标体系[J]. 四川兵工学报,2009,30(10):120-123. (LIU C T, DU X M, LI F. Effectiveness evaluation index system of materiel maintenance support[J]. Sichuan Acta Armamentarii, 2009, 30(10):120-123.)

[6] 陈校平,车飞. 装备保障能力的动态评估[J]. 火力与指挥控制,2011,36(7):167-170. (CHEN X P, CHE F. Dynamic evaluation of materiel support capacity[J]. Fire Control & Command Control, 2011, 36(7):167-170.)

[7] 岳超源. 决策理论与方法[M]. 北京:科学出版社,2003:192-206. (YUE C Y. Theory and method of decision[M]. Beijing: Science Press, 2003:192-206.)

[8] 蔡忠义,陈云翔,徐吉辉. 基于熵权的群组灰色聚类决策法[J]. 电光与控制,2012,19(3):44-46. (CAI Z Y, CHEN Y X, XU J H. A method for group decision-making based on entropy weight and gray cluster analysis[J]. Electronics Optics & Control, 2012, 19(3):44-46.)

[9] 刘思峰,党耀国,方志耕. 灰色系统理论及其应用[M]. 5版. 北京:科学出版社,2010:73-88. (LIU S F, DANG Y G, FANG Z G. Gray system theory and its application[M]. 5th ed. Beijing: Science Press, 2010:73-88.)

[10] 傅祖芸. 信息论[M]. 2版. 北京:电子工业出版社,2007:18-37. (FU Z Y. Information theory[M]. 2nd ed. Beijing: Publishing House of Electronic Industry, 2007:18-37.)

[11] 郭亚军. 综合评价理论、方法及应用[M]. 北京:科学出版社,2007:15-18. (GUO Y J. Theory, method and application of comprehensive evaluation[M]. Beijing: Science Press, 2007:15-18.)