

基于 Banzhaf 权力指数的民机制造过程 人为因素决策研究

喻 慧¹, 陈 昆², 耿秀丽³

(1. 上海航空工业(集团)有限公司, 上海 200232; 2. 上海飞机制造有限公司, 上海 200436;
3. 上海理工大学 管理学院, 上海 200093)

摘要:随着现代技术水平的提高,民机制造过程中由机械原因造成的差错越来越少,而由人为因素引起的差错越来越多,并逐步演变成阻碍产品质量提升的重要因素。在传统的人为因素分析过程中,通常是依据经验来判断引发质量问题的人为因素,未有标准化模型对人为因素进行深入分析,且实际工作中可能存在团队领导一票决定的情况,所以人为因素决策的结果往往是治标不治本。因此,首先运用 SHEL 模型对现场问题进行定位;其次,通过研究国际民航组织(ICAO)规定的 12 项人为因素通病,编制针对民机制造过程的人为因素检查单;然后,采用 Banzhaf 权力指数法分配投票者的权利指数,通过团队决策的方法判断引发质量问题的有害人为因素;最后,针对人为因素决策结果提出相应的纠正措施。这一过程使得整个民机产品人为因素决策更客观化、合理化。

关键词:人为因素;决策;质量问题;班扎夫(Banzhaf)权力指数;SHEL 模型;检查单

中图分类号:V26 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2022)05-0341-05

近年来,国外大型民用飞机的装配技术迅猛提升。以波音 B787、空客 A350 等为例,它们采用了基于数字量传递、辅助以对接平板及机器人技术,实现了尺寸链数字化传递,并通过虚拟装配技术优化了一部分装配过程,这一自动化装配技术极大地减少了人工成本。然而,对于零件数量以百万计的大型民用飞机来说,自动化技术仅能解决规律曲面上的标准件安装、大型部件间对接等装配安装工作,而对于运输类飞机内部的零部件定位、制孔、线缆敷设等工作还需依赖人来完成。国内大型民用飞机制造商更是如此,没有采用先进的自动化装配技术,大部分工作仍需人工来完成。人本身就是一个极其复杂的系统,在与他人、软件、硬件和环境的交互过程中,不可避免地会受到影响。据统计,传统民机制造过程中人为因素问题占整个质量问题总数 40% 以上^[1],人为因素的研究也日益受到航空工业的重视。与此同时,国际航空航天质量组织(IAQG)发布的 AS9100D 中,明确将质量问题人为因素分析纳入质量体系审核内容^[2]。然而,从现场人为因素调研结果可以看出,目前人为因素分析通常是车间主任依据经验来判断引发质量问题的有

害人为因素,未对其开展标准化模型分析,并且车间主任有绝对的权力系数可以一票决定一线操作人员问题,结果不够客观、公正。为了避免这种情况发生,本文以提升国内大型民机制造过程人为因素问题决策方法为背景,通过研究国际民航组织(ICAO)给出的航空业 12 个人为因素通病,编制了针对民机制造过程的人为因素检查单,以准确找出有害人为因素为最终目的,采用 Banzhaf 权力指数法进行团队决策,并根据决策结果提出相应的纠正措施,防止此类问题再次发生。

1 人为因素概述

1.1 人为因素的定义

国际民航组织(ICAO)将人为因素定义为:人为因素是关于人的学科;关于在工作和生活环境中的人,关于人与设备、过程及环境的关系,关于人与其他人的关系;人为因素包括航空系统中人的所有特征;它经常利用系统工程学框架,通过对人体科学的应用,以寻求人的最佳表现。其相互关系的目标为安全与效率。

民机制造过程中的人为因素主要研究制造人员、制造人员所使用的设备与所遵从的程序规章及

收稿日期:2021-12-29

基金项目:民用飞机专项科研技术研究项目。

作者简介:喻慧(1992—),女,湖北汉川人,上海航空工业(集团)有限公司,工程师,硕士,研究方向为产品安全管理与不安全事件调查。

环境条件之间的相互关系。它适用于人员能力、限制,以及与工具设计、机器、工艺、系统、任务、工作和环境相关的行为,目的在于提高人员绩效表现、人为工作意识和组织意识,避免差错的发生,以降低可能存在的由于人为错误产生的安全、效率和高成本运营的风险,从而提高民机主制造商的航空安全水平。

1.2 人为因素的分类

ICAO 规定的航空业 12 个人为因素通病有:疲劳、缺乏交流、骄傲自满、缺乏知识、注意力分散、缺乏团队精神、缺乏资源、紧张、缺乏果断、压力、缺乏意识以及有害的惯例^[3]。

2 人为因素分析方法

2.1 SHEL 模型

SHEL 模型是众所周知的,用于说明不同的系统组成部分对人的影响和相互作用,并强调需要考虑人的因素作为安全风险管理的组成部分。图 1 说明了人(在模型的中心)与工作场所各组成部分之间的关系。SHELL 模型包含 4 个组成部分:①S——软件(software),如规章、程序、手册、检查单和出版物等;②H——硬件(hardware),如工装/工具、测试设备、飞机结构、驾驶舱设计、操纵系统和仪表的配置和使用特性等;③E——环境(environment),如天气、机库条件、温度、周围光线、噪音、振动和空气质量等;④L——生命(lifeware),如干活的工人、车间主任、工艺和质量人员等。

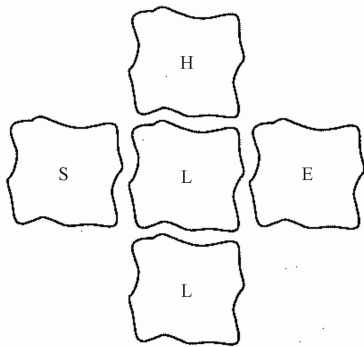


图 1 SHEL 模型

现场问题发生后,首先运用 SHEL 模型应判断该问题属于什么性质的问题首先判定一线操作人员问题是否为人为因素问题,再进行具体分析,提出相应纠正措施。

2.2 班扎夫(Banzhaf)权力指数

班扎夫(Banzhaf)权力指数是指一投票者的权力大小就是其作为获胜联盟中的关键投票者的个

数。往往对其进行“标准化”,即用权力指数比来刻画班扎夫权力指数。权力指数比是指每一个投票者作为获胜联盟中的关键投票者的个数占整个投票博弈中各个投票者的关键投票者的个数之和的比值^[4]。

假设组织中有 n 个成员,设在所有投票组合中投票者 i 成为“关键投票者”的次数记为 α_i ,则投票者 i 的 Banzhaf 指数为

$$B_i = \frac{\alpha_i}{2^{n-1}}, i = 1, 2, \dots, n \tag{1}$$

$$\alpha_i = \sum_{c=1}^{2^{n-1}} K_{i(c)}, i = 1, 2, \dots, n \tag{2}$$

式中: $c = 1, 2, \dots, 2^{n-1}$ 表示除投票者 i 以外的其他所有投票者所能形成的投票选择组合; $K_{i(c)} = \{0, 1\}$ 表示第 i 个投票者在第 c 种投票组合下是否是“关键投票者”,值为 1 或 0 分别代表是或否。

将 Banzhaf 指数进行标准化处理(使各投票者的权力指数之和为 1),即可得到 Banzhaf 指数比:

$$B'_i = \frac{B_i}{\sum_{j=1}^n B_j}, i = 1, 2, \dots, n \tag{3}$$

领导者的不恰当决策会直接影响不安全的监督,同时也影响操作者的状态和行为。所以说,关键投票者很大程度上干扰着找出的客观原因,如何合理地分配投票者的权力、找出人为因素问题的根本原因,是人为因素问题决策的关键。本文以国内某航空器制造商为例,使用 Banzhaf 权力指数方法对制造过程人为因素投票者的权力进行合理分配。

目前,该方法在国内广泛用于股权制企业管理、合作博弈等经济学领域,在工业领域运用较少。

2.3 人为因素检查单

结合民机制造过程实际,根据 ICAO 的 12 类人为因素通病以及 HAFCS 模型描述的失效模式,制作了民机产品制造过程人为因素检查单(图 2),用于准确定位造成现场问题发生的人为因素原因。

3 人为因素决策

民机制造过程人为因素决策步骤:①现场问题发生后,找出问题原因;②运用 SHEL 模型判断此问题是否为人为因素问题;③确定投票者,运用 Banzhaf 权力指数法分配投票者的权利指数;④投票人填写人为因素检查单,判断存在的有害人为因素;⑤根据检查单打分结果,判定一线操作人员现场问题的主要人为因素、次要人为因素;⑥提出相应的纠正措施。

人为因素检查单														
检查项目		检查结果		评分表										
序号	内容	是	否	疲劳	缺乏交流	骄傲自满	缺乏知识	注意力分散	缺乏团队精神	缺乏资源	紧张	缺乏果断	压力	缺乏意识
1	该员工夜班操作或加班工作	☐	☐	4				1						2
2	该员工睡眠不足6h	☐	☐	8										2
3	该员工工作内容复杂	☐	☐	4				2						2
4	该员工连续工作时间长	☐	☐	8				1						2
5	该员工同时执行多项工作	☐	☐	2				8						2
6	操作空间狭小、密闭,或存在噪音、高温	☐	☐	2				2				5		
7	工作的输入、输出方或相互合作者对工作内容的理解存在不一致	☐	☐		10									
8	该员工知道自己可能会出错,但存在侥幸心理,认为可能不会错,没有采取相应的防错措施	☐	☐			6								4
9	该员工未进行必要的自检	☐	☐			4								
10	该员工长时间从事此项工作,经验丰富	☐	☐			4							2	2
11	该员工工作前未对相关文件、要求进行再次确认	☐	☐			8								4
12	该员工不了解工作的目的或出错后可能导致的后果	☐	☐			6								8
13	该员工不知晓完成工作所必需的知识或不具备完成此项工作的能力	☐	☐				10							
14	该员工没有逐步完成工作	☐	☐					6						
15	该员工工作中断后没有重新确认工作要求	☐	☐					6						
16	该员工存在心理压力(工作相关、经济困难等)	☐	☐					2					5	
17	团队决策在其他成员不知晓的情况下由个人独断	☐	☐						10					
18	该员工不能方便的获取到工作所需的文件、工具,及其他资源,对任务的完成造成了明显影响	☐	☐					2		10				
19	该员工在短时间完成超额的工作任务(上级要求或自身时间安排不当)	☐	☐	2							10			
20	该员工存在生理压力(生病、饮食不当等)	☐	☐	2									5	
21	该员工发现了问题或潜在的风险,但未能及时提出	☐	☐								10			2
22	该员工明确认识到自身受到了心理压力或生理压力的影响	☐	☐										5	
23	该员工使用了可能导致该差错的惯常做法来替代标准流程	☐	☐											10
合计		☐	☐											
使用方法: 针对一项人为差错问题,按照左列的检查项目进行判断(无法判断的不打分),对选择为“是”的项目按照评分表对应分值进行记分,并计算各项人为因素的积分总和。 判断时应保证足够的客观性,通过对实际情况的调查、取证,并与普通水平进行对比,最终判断出检查结果。 1、对积分超过10分的项目,应认为该项为主要原因,应采取合适的纠正措施 2、对积分低于10分的项目,应认为该项为次要原因,视该原因的严重程度和发生次数按需采取纠正措施,例如针对主要原因所采取的措施同时也适用于次要原因,则可不针对次要原因单独采取措施,如在多项问题中发现存在相同的次要原因,可以有针对性的采取合适的纠正措施														

图 2 人为因素检查单

4 案例推演

4.1 问题描述

在检查某型飞机架前气密隔板与支撑件连接孔时,发现所有 28 个连接孔垂直度均出现超差,理论垂直度公差为±0.5°,现孔实际轴线与理论轴线夹角从 3°到 8°不等,如图 3 所示。

4.2 问题定位

经初步调查造成此问题原因为操作人员为了便捷操作没有按工艺规范要求使用垂直导套(可保证制孔垂直的辅助工具),结果制孔时未能保证垂直度,造成超差。

工艺文件引用了制孔工艺规范,但未将使用垂直导套的要求明文写入工艺文件,故工人判断为工艺文件的问题,车间质量人员也认为工艺文件对于易超差的孔没有进行警示提醒,故认为属于文件问题,但公司质量人员、车间工艺人员、车间主任判断认为此处属于常见制孔工序,工艺文件编制并不存在明显问题,认为是操作人员个人制孔不当导致。

4.3 人为因素判断

通过 SHEL 模型分析如下:

1)人-软件。工艺文件未明确垂直导套的要求,

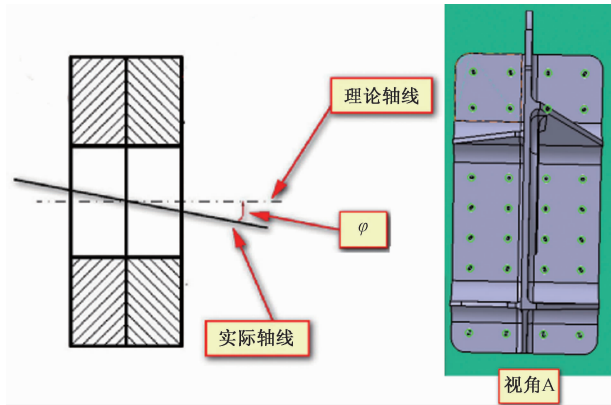


图 3 孔垂直度超差

导致操作人员按习惯便捷操作。

2)人-环境。夜班导致操作人员疲劳、注意力分散。

通过上述分析得知,此问题是人为因素问题。

4.4 分配权力指数

假设投票者包括公司质量人员、车间主任、车间质量人员、车间工人以及车间工艺这 5 类人,共 20 人参与投票。若每类人员手中的票均为 1 票,则权力指数比均为 20%,决策结果较为离散,加之车间往往会顾虑自身利益,特别是车间领导会提出强势的倾向性意见,导致结果严重失真,而质量人员为独立第三方,且更为专业,应根据工作实际给予不同人员不同的权利指数。综上所述,如何准确判断民机制造过程中的人为因素,并提出有效的纠正措施是本文研究的关键。因此,在不考虑其他因素的情况下,将公司质量人员设置为 2 票,车间主任、车间质量设置为 1 票,车间工人、工艺人员设置为 0.9 票。根据 Banzhaf 权力指数公式,得出权利指数见表 1。

表 1 Banzhaf 权力指数

人员分类	占比/%	权力指数	权力指数比/%
车间工人	15.52	4	11.76
车间质量人员	17.24	6	17.65
公司质量人员	34.48	14	41.18
车间主任	17.24	6	17.65
车间工艺人员	15.52	4	11.76

根据 Banzhaf 权力指数方法得出的每类投票者权力指数,能确保公司质量人员的作为独立第三方拥有绝对投票权,又能使投票结果相对公正、合理。

4.5 确定人为因素

向投票者发出 20 份人为因素检查单后,首先,

分别计算公司质量人员、车间主任、车间质量人员、车间工人以及车间工艺这 5 类人对 12 项人为因素打的平均分,汇总出 5 张人为因素检查单;其次,根据表 1 中各类人员占比,将 5 张检查单上的 12 项人为因素积分加权求和,汇总出 1 张人为因素检查单;最后,对积分超过 10 分的人为因素,认定为主要原因,对积分不超过 10 分的人为因素,认定为次要原因。通过人为因素检查单发放,发现该操作人员存在的有害人为因素有:

1)骄傲自满。操作工员工经验主义,自认为技术纯熟不会出错,也没有采取相应预防措施,也没有及时检查阻止批量错误产生。

2)有害的惯例。操作人员为了方便,没有严格按照规范要求使用相应的辅助工具,平时养成的不良习惯最终造成出错。

同时缺乏意识、疲劳、注意力分散也是造成该问题的次要原因,夜班操作导致疲劳,且注意力集中度下降,无法保证足够的警觉性,经验主义和侥幸心理也同时导致该员工没有对可能造成的不良后果产生足够的警觉。

4.6 提出改进措施

该案例共存在 5 类有害人为因素,可以采取以下纠正措施:

1)针对骄傲自满。①要求员工必须严格按照章操作;②培训员工对执行的工作进行自检,告知其批量性问题的严重后果;③培训员工牢记墨菲定律,杜绝侥幸心理;④考虑要求员工进行岗位轮换。

2)针对有害的惯例。①向员工解释不使用垂直导套可能产生的有害后果,必须采用被认可的流程和工作指导书;②培训员工当发现现有标准流程存在问题,或不能很好地提供指导作用时向上级汇报,例如,该员工认为某些场合不需要使用垂直导套时,应向上级汇报;③主管人员进行评估,如果在某些场合没有必要使用垂直导套,可以完善规范要求,使对现场生产更为有益。

3)针对缺乏意识。该项为次要因素,根据分析评估认为针对上述两条采取有效措施后,该员工的质量意识、风险意识也将得到一定程度提升,故不在针对此项因素单独采取措施。

4)针对疲劳、注意力分散。该两项为次要因素,主要是夜班操作引起,鉴于此两项因素计分较低,故此次案例中暂不针对该因素采取措施,但可以对此案例进行积累,例如,当发现多项问题均存

在此项因素时,可以采取相应措施,如对操作人员进行疲劳预防培训、合适的安排加班等。

5 结论

民机制造过程中的质量问题大多可归咎于人的因素,找出根本原因并提出针对性的改进措施是减少质量问题关键。本文利用 Banzhaf 权力指数方法对人为因素投票者的权力进行了合理分配,解决了投票过程中一票决定一线操作人员问题,避免了投票结果不够客观、公正。

参考文献

[1] 程胜,盛承勋,徐建华,等. 高度复杂产品研制阶段中的计量保证工作[J]. 中国计量,2015(7):49-50.
[2] 程胜,徐建强,柯一春,等. 复杂制造过程中的人为因素分类研究[J]. 科技和产业,2018,18(3):99-103.
[3] ICAO. Safety report 2014[R]. Montreal: International Civil Aviation Organization,2014.
[4] 陈建先. 权力指数的特征及其内核:基于夏普利值的投票博弈分析[J]. 领导科学,2017(35):35-38.

Human Factors Decision of Civil Aircraft Manufacturing Process
Based on Banzhaf Power Index

YU Hui¹, CHEN Kun², GENG Xiuli³

(1. Shanghai Aviation Industry (Group) Co., Ltd., Shanghai 200232,China; 2. Shanghai Aircraft Manufacturing Company, Ltd.,Shanghai 200436,China; 3. Business School,University of Shanghai for Science and Technology,Shanghai 200093,China)

Abstract: With the improvement of technology, the errors caused by mechanical reasons in the manufacturing process of civil aircraft become fewer and fewer, while more and more errors caused by human factors have gradually evolved into important factors that hinder the improvement of product quality. In the traditional process of human factors analysis, the human factors that cause quality problems are usually judged based on experience. There is no standardized model for in-depth analysis of human factors. In actual work, there may be situations where the team leader decides by one vote. So, the result of decision-making is often a temporary solution rather than a permanent cure. Therefore, the SHELL model is used to locate the on-site problems; secondly, by studying 12 common human factors regulations of ICAO, a human factors checklist for civil aircraft manufacturing process is compiled firstly, then, the Banzhaf power index method is used to allocate the voter's right index determines the harmful human factors that cause quality problems through team decision-making methods. Finally, corresponding corrective measures are proposed for the human factor decision results. This process makes the human factors decision of the entire civil aircraft product more objective and rational.

Keywords: human factors;decision making;quality issues;Banzhaf power index;SHELL model;checklist