

# 基于 BP 神经网络的飞机装配车间异常事件预警<sup>\*</sup>

## Prediction Technology of Abnormal Events in Aircraft Assembly Workshop Based on BP Neural Network

北京航空航天大学经济管理学院 闪四清 毛中慧 辛腾龙

**[摘要]** 在飞机装配现场工作中,因为车间人员流动、设备故障、物料短缺或者工艺等因素影响,常常造成工作未能按计划进行,甚至造成工作等待等异常事件。在综合分析飞机装配车间异常事件的原因后,基于4M1E方法(人、机、料、法、环)分析异常事件影响特征因素,并利用BP神经网络建立飞机装配车间异常事件预警模型,实现对车间异常事件的分类预警,支持企业及时、快速地对异常事件做出响应。最后利用上海飞机制造有限公司装配车间异常事件数据对本模型的应用进行验证,结果显示该模型有很高的检测正确性,可用于飞机装配车间实际应用。

**关键词:** BP神经网络 飞机装配异常事件 分类 预警

**[ABSTRACT]** In the aircraft assembly workshop, because of a variety of factors, such as the movement of persons, equipment failures, shortage of materials, manufacturing process and so on, it often brings about some work delays according to plan, even some abnormal events like job stoppages. After comprehensive analysis of the abnormal events in aircraft assembly workshop, we analyzed the typical influential factors of abnormal events based on the method of 4M1E, which represents Manpower, Machine, Material, Method and Environment. Then we established the prediction model for abnormal events in aircraft assembly workshop based on BP neural network to provide strong supports for information monitoring and response. Finally, we verified the application of the prediction model using the real data of Shanghai Aircraft Manufacturing Company, and the experimental results showed that the model has a high performance.

**Keywords:** BP neural network Abnormal events Classification Prediction

随着全球经济的飞速发展,生产企业必须提高自身

的管理水平以应对不断变化的市场环境。航空制造企业由于其生产产品的特殊性、复杂性,更要不断地加强对其生产线的管理。从精益生产的观点来看,目前最佳的飞机制造模式是移动生产线。其核心理论是以飞机装配为龙头,围绕飞机装配生产需要,按照产品配套信息组织物料,严格控制配送过程,将生产活动标准化,从而达到由装配有节律地拉动整个生产主流程和辅料配送辅助流程<sup>[1]</sup>。而由于飞机装配是多部门协同、多学科集成应用的大系统,装配过程中经常会出现各种突发异常事件,影响生产质量及效率,造成生产进度延误,为企业带来大量损失,甚至影响企业的声誉<sup>[2]</sup>。因此,如果可以对车间异常事件进行有效预警,当预警到可能会产生异常事件时,提前展开检测并做出有效措施,并针对异常事件的严重性,采取措施,将一切不良因素抑制在可控范围之内,遏制可能发生的异常事件,将大大减少企业的停工率,有效地减少企业因停产而带来的工作延误及经济损失。

当前对于生产异常事件的研究分析多集中于普通的生产制造企业当中,如尹超等针对生产车间普遍面临的因人员、设备、质量、物料等异常事件不能及时反馈和处理而影响生产进度的问题,构建了一种可支持异常事件信息动态采集、实时传递、快速处理和综合查询分析的车间生产异常事件实时管理系统<sup>[3]</sup>;马力等结合实际生产情况,分析总结了生产异常的主要类型,并针对各种类型提出相应的处理方法,在总结多数企业异常处理规程的基础上,提出普遍适用的异常处理流程,可为企业在生产管理中的异常处理问题上提供参考<sup>[4]</sup>;初红艳等针对基于加工单元的制造车间的生产调度问题进行了研究,并对其中可能发生的异常事件给出了处理方案<sup>[5]</sup>。以上研究都是针对生产车间异常事件该如何处理这个问题展开的,而对于车间异常事件的预警目前还没有统一的理论来指导实践。在异常事件预警方面,马黎等提出了基于BP神经网络的交通异常事件自动检测算法<sup>[6]</sup>,但目前航空制造领域尚没有对装配车间异常事件预警进行系统研究。

本论文在系统分析上述研究成果的基础上,尝试使

<sup>\*</sup> 上海飞机制造有限公司和国家自然科学基金(70971004、71332003)资助。

用 BP 神经网络建立飞机装配车间异常事件分类预警模型,以实现快速有效地对飞机装配车间异常事件进行预警,从而帮助企业提前采取解决措施,减少装配工作时延误,实现生产零等待。

## 1 BP 神经网络

BP (Back Propagation) 神经网络是 1986 年由 Rumelhart 和 McClelland 为首的科学家小组提出,是一种按误差逆传播算法训练的多层前馈网络,是目前应用最广泛的神经网络模型之一。BP 网络能学习和存贮大量的输入-输出模式映射关系,而无需事前揭示描述这种映射关系的数学方程。它的学习规则是使用最速下降法,通过反向传播来不断调整网络的权值和阈值,使网络的误差平方和最小。其模型拓扑结构包括输入层 (Input)、隐层 (Hide Layer) 和输出层 (Output Layer),层与层之间是全连接的,每一个连接弧连接两个神经元,并赋有权值作为前一层神经元对后一层神经元的影响程度,每一层内部的任意两个节点都是互不相连。在 BP 神经网络中,隐含层起抽象的作用,即它能从输入数据提取特征,实现网络非线性映射的功能<sup>[7-8]</sup>。

BP 神经网络将学习过程分为两个阶段:从输入层到输出层的正向传播过程及从输出层到输入层的反向传播过程。在训练期间,除了误差值通过网络传回以确定如何修改权外,反向传播与正向传播是类似的。具体算法步骤如下。

第一步:正向计算求误差函数。设有  $T$  个样本,其中,第  $p$  个样本为  $X^p$ ,当  $X^p$  输入网络后,可以得到输出误差函数为:

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_{l=0}^m (t_p - y_l^p)^2 \quad (1)$$

则所有  $T$  个样本的总误差为:

$$E_{\text{总}} = \sum_{p=1}^T E_p = \sum_{p=1}^T E_p(W, t^p, X^p) \quad (2)$$

第二步:误差反向传递修正权值。设  $W_{ij}$  为网络中任意两个神经元间的连接权,可通过求  $E_{\text{总}}$  关于  $W_{ij}$  的梯度,计算出  $W_{ij}$  变化对  $E_{\text{总}}$  的影响:

$$\frac{\partial E_{\text{总}}}{\partial W_{ij}} \approx \frac{\Delta E_{\text{总}}}{\Delta W_{ij}} \quad (3)$$

因此,对每个  $W_{ij}$  的修正值为:

$$\Delta W_{ij} = -\eta \frac{\partial E_{\text{总}}}{\partial W_{ij}} \quad (4)$$

即得到的学习算法为:

$$W_{ij}(n+1) = W_{ij}(n) + \Delta W_{ij}(n) = W_{ij}(n) - \eta \frac{\partial E_{\text{总}}}{\partial W_{ij}}, \quad (5)$$

其中,  $n$  为迭代次数。

对大部分无模型的非线性系统。应用误差反向传播算法的多层感知器都能够进行很好的模拟。BP 神经网络是一种应用广泛、结构简单、性能优越的人工神经网络模型,具有进行数据修补的非线性映射和学习记忆等优点,给诸如复杂曲面的非线性几何特征提取等系统建模带来了一种新的非传统的表达工具。

## 2 车间异常事件预警

飞机装配车间现场生产环境复杂多变,存在着大量不确定性因素,造成装配车间的异常事件频繁发生。异常事件常常造成生产停工,影响生产进度,造成大量损失,因此如何对车间装配车间异常事件进行预警显得尤为重要。

生产发生的异常也就是产品制程中的异常,制程的起伏变化是造成品质变异的主要根源,而品质变异的大小也是决定产品优劣及生产有效性的关键。在飞机装配过程中,生产异常种类繁多,在此我们结合实际生产经验,结合上海飞机制造有限公司统计数据,将飞机装配车间异常事件进行分类,如表 1 所示。

表 1 异常事件分类表

异常事件类别	说明
工艺待工程处理	缺少工程资料或处理办法,影响工艺处理,影响当前 AO 工作
质量待工程处理	缺少工程资料或处理办法,影响质量处理,影响当前 AO 工作
待工艺处理	缺少工艺文件或处理办法,影响当前 AO 工作
缺供应商配套件	缺少供应商提供的成品件、结构件、标准件等配套件,影响当前 AO 工作
待供应商撤保留	供应商提供产品有保留项目,不能满足状态要求,影响当前 AO 工作
缺自制件	缺少上飞自制件,影响当前 AO 工作
待上位撤保留	紧前工位有保留项目,影响当前 AO 工作
待物流配送	有库存且处可用状态,因未及时配送,影响当前 AO 工作
质量问题	待质量管理部门处理,影响当前 AO 工作
工装设计问题	待工装部处理,影响当前 AO 工作
工装制造问题	待项目运营部组织制造部门处理
工装质量问题	待质量管理部处理
工装管理问题	待项目运营部处理
刀、量具问题	待物流中心处理

综合异常事件分类表可以得出,飞机装配过程中的异常影响因素来源无外乎与生产紧密相关的“人、机、料、法、环”5 个因素,即传统的 4M1E 管理因素。因此

我们利用工业工程的方法,将这5个方面提炼出5个影响特征因素作为检测装配车间异常事件的预警输入。

(1)“人”是指一线生产员工,生产员工的装配熟练度对于是否产生生产异常有很大的关系。假如生产车间全是经验丰富的老员工,则车间产生生产异常的几率就会相当低,相反,如果车间全是刚参加工作新员工,可以想象车间肯定是事故多发了。在工厂车间内,每名员工都有着自己的工时,而工时往往体现着一名员工的工作熟练程度,因此我们选取车间内资格最老员工的工时作为max,然后用每名员工的工时除以max,则可得每名员工的工作熟练系数,最后我们取车间内所有员工的平均值作为工人熟练程度输入。如车间A员工为最熟练工人,其工时累计为 $T_A$ ,其他员工分别为 $T_B$ ,

$T_C, \dots, T_N$ ,则 $R_A = \frac{T_A}{T_A} = 1, R_B = \frac{T_B}{T_A}, R_N = \frac{T_N}{T_A}$ ,最后得出

$$R = \frac{R_A + R_B + \dots + R_N}{N}$$

(2)“机”是指车间设备。随着科学技术的不断进步和现代化生产的飞速发展,机器设备作为决定产品生产的产量、质量和成本的重要因素,其作用越来越明显。设备在使用过程中,必然会产生不同程度的磨损、疲劳、变形或损伤,随着时间的延长,它们的技术状态会逐渐变差,使用性能下降,从而发生生产异常的概率也会增加。实践证明大多数设备的故障率是时间的函数,典型故障曲线称之为浴盆曲线(Bathtub Curve),又称失效率曲线,曲线的形状呈两头高、中间低,具有明显的阶段性,可划分为3个阶段:早期故障期,偶然故障期,严重故障期<sup>[9]</sup>。如图1所示。

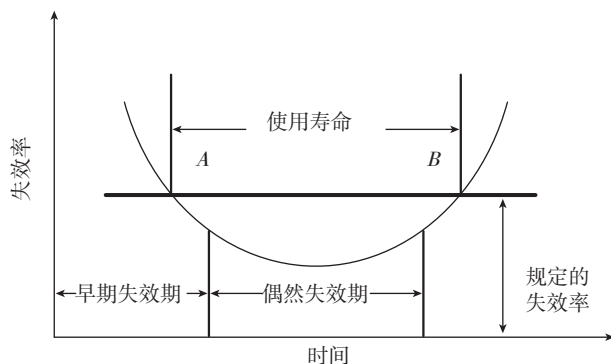


图1 浴盆曲线  
Fig.1 Bathtub curve

浴盆曲线是指产品从投入到报废为止的整个寿命周期内,其可靠性的变化呈现一定的规律。我们可以得到车间内各主要设备的浴盆曲线,进而通过加权平均得到某时刻车间设备的故障率。

(3)“料”是指相关生产物料,此处我们采取物料

短缺率来衡量此影响因素。飞机的装配生产过程是多部门协同、多学科集成应用的大系统,其正常运转依赖于快速有效地物料供应。大型飞机的数字化装配过程中涉及到的连接件、标准件、配套零部件等物料是否按计划及时准确地配送严重影响着整个装配过程的效率。通过历史统计,可以得到某装配活动所需物料的历史记录,进而通过计算可以得到物料可能发生短缺的概率。

(4)“法”是指装配过程中的生产工艺。由于当前飞机制造业面对外部客户的多样化需求和企业间的多方竞争,“多品种、小批量、多研发、少批产”的特点越来越突出,导致企业不得不以多个产品系列和型号来应对多方挑战。这不仅对产品设计提出了模块化、系列化要求,也带来了制造过程中经常性的工艺更改和计划变更,使得生产现场管理与生产现场物流的数据量庞大、复杂和多变,因此我们选取生产工艺的修改率作为生产异常的一个影响因素。

(5)“环”是指生产车间环境。车间内的劳动环境具有复杂多变的特点,其对装配生产工作有极大的影响作业。一个干净整洁的环境能够使员工提高工作效率,同时经长时间观察发现,车间长时间噪音除了对听觉器官有特异性损伤外,还可通过中枢神经系统对心血管、消化、内分泌等系统和心理方面造成非特异性的损害,进而影响正常工作,造成车间异常事件的发生<sup>[10]</sup>。如表2和表3所示,我们分别将车间噪音和劳动环境划分为以下5级,并对每一级进行具体描述,最后给出每一个等级的分数。其中分数越高代表环境指数越好,对员工的影响也越低;如分数越低,说明环境越恶劣,则对员工的影响也较高。

表2 车间噪音等级

等级	级差/dB	分数
I	0~30	1.0
II	30~50	0.8
III	50~70	0.6
IV	70~90	0.4
V	90~100	0.2
VI	≥ 100	0

根据研究发现,噪音对员工的影响要比劳动环境造成的影响大。因此,本论文将噪音对员工的影响比重设置为0.7,劳动环境对员工的影响比重设置为0.3,则车间环境分数 = 0.7 × 噪音分数 + 0.3 × 劳动环境分数。

### 3 BP神经网络应用模型

本系统采用一个3层的BP神经网络,具体结构为

表3 车间劳动环境等级

等级	描述	分数
I	车间保持装配的材料、工具码放有序。道路通畅,工作场所清洁整齐,施工程序井井有条。为确保质量、安全创造良好条件。	1.0
II	车间保持装配的材料、工具整齐,不影响使用。道路有些杂物,但不影响通行。	0.8
III	车间装配的材料、工具不整齐,但不影响使用。道路堆放了些许杂物,通行有些困难。	0.6
IV	车间装配的材料、工具杂乱无章,影响正常使用。道路堆放了很多杂物,通行有些困难。	0.4
V	车间装配的材料、工具非常杂乱,且不齐全,影响正常使用。道路堆放了很多杂物,几乎无法通行。	0.2
VI	整个车间都是杂乱无章的状态,无论是工具设备还是道路都无法正常运转。	0

$5 \times 12 \times 3$ 。即网络输入层有5个节点,隐层有12个节点,输出层有3个节点。

如图2所示,网络中每一层神经元只接受前一层神经元的输入,并在节点上进行复合(线性叠加)和畸变(非线性映射)。通过复合反映不同神经元之间的耦合程度,通过畸变改变输入信息的结构和性态<sup>[11-12]</sup>。下面对网络结构进行具体分析:

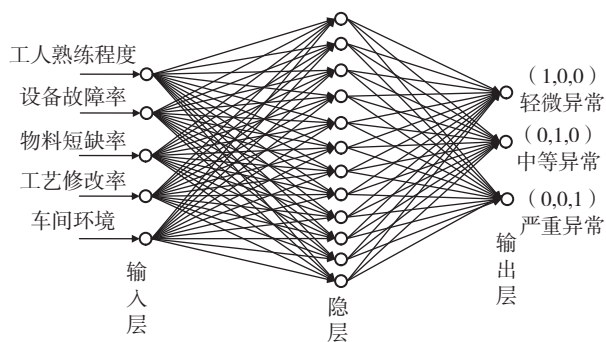


图2 BP神经网络结构

Fig.2 Structure of the BP neural network

输入层的5个节点分别代表飞机装配车间的5个影响因素,即工人熟练程度、设备故障率、物料短缺率、工艺修改率、车间环境。

飞机装配车间异常事件预警为分类问题,根据异常事件所导致的结果严重性将输出3种状态<sup>[13]</sup>,即(1,0,0)表示轻微异常,(0,1,0)表示中等异常,(0,0,1)表示严重异常。我们对这3种状态做出如下定义:

“严重异常”,导致生产停工,需要生产管理部组织协调,确定牵头责任部门,并由责任部门提交拟解决方案及拟解决时间。

“中等异常”,导致生产停工,但相关责任部门自行可解决,并可快速恢复生产。

“轻微异常”,并没有出现生产停工,只是出现工作进度延误,落后于原定生产计划。

对于隐层神经元个数 $n$ 与输入元素个数 $m$ 有如下近似关系 $n=2m+1$ ,我们通过反复调试最终确定隐层的节点数为15,该数目下计算结果的效率与准确率会达到一个平衡<sup>[7]</sup>。

#### 4 试验过程及结果分析

我们获取了上海飞机制造有限公司装配车间2012年6月10日至2012年8月15日的异常事件记录,数据源总共为300组记录,我们随机选取其中200组数据作为训练集,50组作为验证数据集,50组作为测试数据集。验证组的作用主要是为了防止训练结果出现过拟合状况<sup>[14]</sup>。

本文用Matlab7.0实现了上述网络模型,网络训练过程是一个不断修正权值和阈值的过程,通过调整,使网络的输出误差达到最小,满足实际要求。我们利用以下代码来创建网络<sup>[15]</sup>。

```
net=newff(
minmax(P),[15,3],{'tansig','logsig'},'trainlm');
net.trainParam.lr=0.1;
net.trainParam.epochs=500;
net.trainParam.goal=0.00001;
LP.lr=0.1;
vv.P=pv;
vv.T=tv;
vt.P=p_test;
vt.T=t_test;
[net,tr]=train(net,ptr,ttr,[],[],vv,vt);
```

其中,函数minmax设定了输入向量元素的阈值范围为[0,1],隐含层神经元的传递函数采用S型正切函数tansig,输出层神经元的传递函数采用S型对数函数logsig,其输出模式为(0,1),满足网络输出要求。网络的训练函数为trainlm,该函数运行速度较快,比较适合大中型的网络。学习函数取默认值learngdm,性能函数取默认值mse。本模型中学习速率选取为0.1。 $P$ 和 $T$ 分别为网络的输入向量和目标向量,网络的训练次数设为500,训练目标设为0.00001。

BP神经网络在使用前必须对它进行训练,即学习。训练就是利用一种学习方法对权值按照有序的方式进行修改的过程,根据从应用环境里得到的一些训练数据,不断的调整神经网络中的权矩阵,直到比较合适为止。神经网络的学习是根据实例的重复训练,所以需要

大量的实例样本数据。在我们课题组的 BP 神经网络训练过程中,经过 23 次训练后,每次训练完训练集的平方误差曲线快速收敛,平方误差收敛曲线逐渐趋近 0,验证集的平方误差几乎在一直减小,并没有出现突然增大的情况,说明训练后的神经网络没有出现拟合情况。因此我们可以得到这样的结论,神经网络的性能达到了要求,且有较好的收敛性。经过 23 次训练后,我们对神经网络进行了回归分析。通过回归分析我们可以得到这样的结论,测试集运算结果与目标值的回归系数达到 0.972,说明该测试结果与原目标有很好的拟合度,模型预测效果很好。在回归分析过程中,我们对轻微异常、中等异常、红色异常 3 种异常分类权重进行了对比分析,结果发现,该模型可以有效区分出不同种类型的异常事件。

最后,我们通过计算分别得到该预警模型的准确率、错误率、查准率、查全率,通过这几个指标来说明 BP 神经网络对于飞机装配车间异常事件预警的应用效果。

准确率(DR)指标显示,BP 神经网络应用于飞机装配车间异常事件预警,经过足够的样本训练,具有较高的预测准确率,可以应用于生产现场,从而改善异常事件的预警机制,提高车间对异常事件的反应速度,降低生产异常事件带来的风险。

$$\begin{aligned} \text{准确率(DR)} &= \frac{n(\text{轻微}|\text{轻微}) + n(\text{中等}|\text{中等}) + n(\text{严重}|\text{严重})}{n(\text{轻微}|\text{轻微}) + n(\text{轻微}|\text{中等}) + n(\text{中等}|\text{轻微}) + n(\text{中等}|\text{中等}) + n(\text{轻微}|\text{严重}) + n(\text{中等}|\text{严重}) + n(\text{严重}|\text{轻微}) + n(\text{严重}|\text{中等}) + n(\text{严重}|\text{严重})} \\ &= 0.82 \end{aligned}$$

错误率(FR)是对预警准确率的补充,经过 BP 神经网络中的样本训练,可以得到较低的错误率,降低因模型本身造成预警失误的可能性。

$$\begin{aligned} \text{错误率(FR)} &= \frac{n(\text{轻微}|\text{中等}) + n(\text{轻微}|\text{严重}) + n(\text{中等}|\text{轻微}) + n(\text{中等}|\text{严重}) + n(\text{严重}|\text{轻微}) + n(\text{严重}|\text{中等})}{n(\text{轻微}|\text{轻微}) + n(\text{轻微}|\text{中等}) + n(\text{中等}|\text{轻微}) + n(\text{中等}|\text{中等}) + n(\text{轻微}|\text{严重}) + n(\text{中等}|\text{严重}) + n(\text{严重}|\text{轻微}) + n(\text{严重}|\text{中等}) + n(\text{严重}|\text{严重})} \\ &= 0.18 \end{aligned}$$

而通过计算预警模型的查准率和查全率可以更全面地评价模型对 3 种异常进行分类的质量。查准率 PR 定义为正确判别为该类的测试样本占判别为该类别测试

样本的比例,表示分类的正确性;查全率 RE 定义为正确判别为该类的测试样本占该类总测试样本的比例,表示分类的完整性。两者的关系为,在测试集确定的情况下,查全率与查准率基本是相对一致的关系,即通过提高查全率可以使查准率得到相应的提高。以下为各项指标计算结果:

$$\begin{aligned} \text{查准率 PR (轻微)} &= \frac{n(\text{轻微}|\text{轻微})}{n(\text{轻微}|\text{轻微}) + n(\text{轻微}|\text{中等}) + n(\text{轻微}|\text{严重})} = 0.7000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{查准率 PR (中等)} &= \frac{n(\text{中等}|\text{中等})}{n(\text{中等}|\text{轻微}) + n(\text{中等}|\text{中等}) + n(\text{中等}|\text{严重})} = 0.6667 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{查准率 PR (严重)} &= \frac{n(\text{严重}|\text{严重})}{n(\text{严重}|\text{轻微}) + n(\text{严重}|\text{中等}) + n(\text{严重}|\text{严重})} = 1 \end{aligned}$$

通过 3 种类别的查准率可以看到,经过 BP 神经网络对样本的训练,可以较准确地对飞机总装车间的异常事件进行分类和预警,从而实现对异常事件的分级处理,将有限的资源集中到最紧急事件的处理中,实现资源的合理配置。

$$\begin{aligned} \text{查准率 PE (轻微)} &= \frac{n(\text{轻微}|\text{轻微})}{n(\text{轻微}|\text{轻微}) + n(\text{中等}|\text{轻微}) + n(\text{严重}|\text{轻微})} = 0.7000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{查准率 PE (中等)} &= \frac{n(\text{中等}|\text{中等})}{n(\text{轻微}|\text{中等}) + n(\text{严重}|\text{中等}) + n(\text{严重}|\text{中等})} = 0.6154 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{查准率 PE (严重)} &= \frac{n(\text{严重}|\text{严重})}{n(\text{轻微}|\text{严重}) + n(\text{中等}|\text{严重}) + n(\text{严重}|\text{严重})} = 0.9630 \end{aligned}$$

查全率则说明,BP 神经网络的运行结果对异常事件的预警分类较完整,能将大多数异常事件按照正确的分类检测出来,从而使异常事件尽快得到处理,减少工作延误带来的损失,增强生产的连续性。

以上指标结果表明,神经网络应用于飞机装配车间异常事件分类预警有很好的效果,对于成功预测车间异常事件(尤其是严重性的车间异常事件)有很好的可靠性,可有效提高车间的快速反应能力,减少异常事件带来的损失。

## 5 结束语

本论文首先对飞机装配车间异常事件进行类别分析,在此基础上系统地研究了其形成原因。通过“人、机、料、法、环”构建了异常事件形成因素模型,并最终利用

BP神经网络实现了对异常事件的预警,实验证明该模型有较高的预测准确性,并且避免了传统算法因人为建立的模型与实际不符导致检测不准确的情况,可用于车间现场对异常事件的预警,支持企业提早对可能发生的异常事件采取措施,快速解决工作延误,减少装配工作的直接工时消耗,消除生产进度延误并改善产品质量。

上海飞机制造有限公司是中国商飞公司的总装制造中心,承担着我国 ARJ21 支线飞机和 C919 干线飞机的总装制造任务,肩负着我国民机发展的重要使命,并且正在努力发展成为世界民机领域一流的总装制造企业,成为国际最具效率、最具信赖的航空总装制造商。民机总装集成能力、快速反应能力是上飞公司的战略能力目标。在飞机装配过程中,快速反应是衡量飞机装配制造和管理水平的一项重要指标。培养和提高飞机装配快速反应能力是上飞公司当前的一项重要工作。异常事件预警能力是快速反应能力的重要组成部分。

此项研究不仅提高了飞机移动工位生产线的信息化水平,而且提高了各个部门的生产效率和对工作延误的反应能力。此外,该项研究成果已经融入移动工位快速反应系统中,便于车间对现场可能出现的因素变动实时监测,并对异常事件及时预警。

为了在飞机装配实际工作中更好地应用异常事件预警方法,提高预警水平,增强快速反应能力,实现上飞公司的战略能力目标,除了在快速反应系统中增加异常事件预警功能模块之外,还需要加强公司的快速反应制度体系建设,从根本上解决异常事件预警和响应工作。飞机总装快速反应制度体系建设应当包括3个方面的内容,即完善现有快速反应规章制度、全面使用快速反应系统和加强员工快速反应教育。第一,在现有的快速反应规章制度中,应当增加有关异常事件预警制度,设计预警工作流程,设置数据采集、数据处理、数据分析、数据报告、问题解决工作岗位,明确各工作岗位的职责,确定工作责任人,实行有效的奖惩制度,规范化异常事件预警机制,将异常事件预警工作落实到实处,有效推动异常事件产生原因分析和问题彻底解决等工作。第二,在公司全面实施快速反应系统,不能将快速反应系统的使用仅仅局限在飞机装配等车间中,应当扩大快速反应系统的推广使用范围。异常事件发生的原因是多样的,往往涉及到多个部门、多个环节、多个层次,异常事件的解决需要依赖整个公司的全力协作。具备异常事件预警的快速反应系统,只有在公司全面开展应用之后,才能充分发挥其及早发现问题、及时采取有效处理措施的作用。第三,在异常事件预警和快速反应过程中,员工是快速反应各项规章制度的执行者,是快速反应系

统的操作者,是推动分析和解决异常事件问题的最终解决者,员工素质的高低是影响快速反应能力水平的最关键因素。因此,应当加强员工的快速反应能力素质的教育,培养他们认识异常事件现象、及早发现异常事件征兆、准确描述异常事件和存在的问题、及时采取合理处理措施的主动性和能动性,充分发挥员工的积极性和创造性,使得员工能够在理解和遵循快速反应规章制度前提下,利用快速反应系统有效开展异常事件预警、异常事件反应、异常问题解决工作。

## 参考文献

- [1] 孟飙. 飞机数字化装配制造过程供应链管控的重要性. 航空制造技术, 2010(23):101-103.
- [2] Kim Y G, Park C S, Kim Y C. An effective content management methodology for business process management. Lecture Notes in Computer Science, 2005, 3649: 416-421.
- [3] 尹超, 马春斌, 刘飞, 等. 车间生产异常事件实时管理系统研究. 计算机集成制造系统, 2009,15(4): 719-725.
- [4] 马力, 王奕娇, 夏吉庆. 企业管理中生产异常处理及改善方法探究. 东北农业大学学报(社会科学版), 2009,7(1): 82-84.
- [5] 初红艳, 曹全军, 费仁元. 基于加工单元的制造车间的生产调度研究. 北京工业大学学报, 2006,32(8): 730-736.
- [6] 马黎, 赵丽红, 傅惠. 基于BP神经网络的交通异常事件自动检测算法. 交通科技与经济, 2010,12(6): 47-50.
- [7] Rob Callan. 人工智能. 黄厚宽, 译. 北京: 电子工业出版社, 2004: 237-256.
- [8] Engelbrecht A P. 计算机智能导论. 谭莹, 译. 北京: 清华大学出版社, 2010: 13-42.
- [9] 陆朝荣, 施毅. 设备故障率和设备维修策略. 石油化工技术经济, 2004,20(3): 48-51.
- [10] 付维, 邱绍良. 工厂生产车间噪声对工人听力的影响及其对策. 听力学及言语疾病杂志, 2005,13(2): 130-131.
- [11] Chen C S, Chen P T B, Chou N F F, et al. Development and application of a decision group back-propagation neural network for flood forecasting. Journal of Hydrology, 2010, 385:173-182.
- [12] Mazurowski M A. Training neuralnetwork classifiers for medical decision making: the effects of imbalanced datasets on classification performance. Neural Networks, 2008, 21(2-3):427-436.
- [13] Castellania M, Rowlandsb H. Evolutionary artificial neural network design and training for wood veneer classification. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2009, 22(4-5): 732-741.
- [14] Hsu K T. Using a back propagation network combined with grey clustering to forecast policyholder decision to purchase investment-linked insurance. Expert Systems With Applications, 2011, 38:6736-6747.
- [15] 董长虹. Matlab神经网络与应用(第2版). 北京: 国防工业出版社, 2007: 64-106.

(责编 深蓝)