

航空供氧保障作业中燃爆事故的预防研究

卢峰, 周显军, 王海东, 谢立军

(海军航空工程学院 青岛校区, 山东 青岛 266041)

摘要: 针对化学性爆燃的三要素, 通过对航空供氧保障作业中导致燃爆事故的原因进行分析, 构建了层次结构模型, 运用模糊综合评价法对人员、设备、环境和管理4类因素实施定量评价, 确定各因素在导致燃爆事故中的重要程度, 在此基础上提出了航空供氧保障作业燃爆事故的预防措施。

关键词: 航空供氧保障; 燃爆事故; 模糊综合评价; 预防

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2013.03.025

中图分类号: V245.3⁺1 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2013)03-0103-04

Study of Combustion and Explosion Accidents Prevention in Aircraft Oxygen Support Operation

LU Feng, ZHOU Xian-jun, WANG Hai-dong, XIE Li-jun

(Qingdao Branch of Naval Aeronautical & Aeronautical University, Qingdao 266041, China)

Abstract: Causes of combustion and explosion accidents in aircraft oxygen support operation were analyzed according to three elements of chemical combustion and explosion. The hierarchical structure model of combustion and explosion accidents was established. Quantitatively evaluation of four factors was made using fuzzy comprehensive evaluation, including personal, device, environment and management, to confirm the important degree of each factor in combustion and explosion accident. On this basis, preventing measures for combustion and explosion accidents in aircraft oxygen support operation were put forward.

Key words: aircraft oxygen support operation; combustion and explosion accidents; fuzzy comprehensive evaluation; prevention

航空供氧保障作业是我军航空勤务保障的重要内容之一。氧气的化学性质非常活泼, 具有极强的助燃性和氧化性, 航空用氧气纯度高、压力大, 与油脂接触极易发生燃烧和爆炸, 属于易燃易爆的高危物质。航空供氧保障作业中人的不安全行为、装备的不安全状态, 以及环境等因素的影响, 都极易导致

燃爆事故, 给国家和军队的生命财产安全造成巨大损失。

1 产生燃爆事故的要素

从大多数供氧保障作业爆炸实例分析来看, 多

收稿日期: 2013-01-10

作者简介: 卢峰(1981—), 男, 山东胶州人, 硕士, 讲师, 主要研究方向为后方专业勤务。

为化学性爆炸,因此文中所指爆炸主要是化学性爆炸。形成燃爆事故的要素包括3个方面:可燃物、助燃物、火(热)源。

1) 可燃物。在航空供氧保障作业中,可燃物主要是润滑油、密封垫和铁锈等杂质。压缩机内的润滑油发生泄露与高纯度氧气接触;润滑油在高温(150℃以上)高压(7 MPa以上)时,裂解为沸点比原润滑油低很多的轻馏分,气化混入氧气中;密封垫使用前未进行严格脱脂;管道内壁被高纯度氧气氧化产生铁锈,使用前未进行彻底吹扫等,都极有可能导致燃爆事故。

2) 助燃物。氧气是助燃物质,为乙类火灾危险性物质,是可燃物燃烧爆炸的基本要素之一,但同时也是航空供氧保障作业中必不可少的化学物质。因此,化学性燃爆的问题主要在可燃物和火(热)源上。

3) 火(热)源。爆炸性杂质固体微粒相互摩擦或与器壁摩擦;静电放电;电气元器件打火;绝热压缩;海水冷却效果不良导致压缩机和被压缩的氧气温度更高等。

2 影响燃爆事故的因素分析

系统安全工程中的第二类危险源是指导致能量及危险物质的约束或限制措施失效的各种因素。第二类危险源出现的情况决定事故发生的可能性,而人、机、环境是导致第二类危险源出现的3个主要方面^[1]。根据这一理论,结合航空供氧保障作业的实际情况,将导致燃爆事故的原因确定为人员、设备、环境和管理4个方面。

1) 人员:主要指人员的专业素质(专业技术不熟练,操作方法不正确等),思想素质(事业心、责任感缺乏,安全观念差等),身体心理素质(感知能力不敏锐,记忆、注意力差,情绪不稳定等)和作风纪律(盲目蛮干,工作马虎大意,制度落实不力等)等。

2) 设备:主要指设备的设计存在缺陷,生产质量不合格,可靠性能差等。

3) 环境:主要指环境的温度、湿度、通风条件等容易引发事故的不良环境条件。

4) 管理:主要指工作计划不周密,问题纠正不彻底,检查监督不充分,质量培训不严格,组织机构不健全,法规制度不完善等。

3 模糊综合评价法

模糊综合评价法^[2]是一种基于模糊集合理论的评价方法,具有结果清晰、系统性强的特点,运用模糊变换原理和最大隶属度原则,综合考虑与被评价事物相关的各个因素,对评价对象作出综合评价。

3.1 确定评价因素集 U

对评价事物进行评价,影响评价的指标因素为 m 个,分别记为 $u_1, u_2, \dots, u_m$, 则这 m 个因素便构成一个评价因素的集合,见式(1)。

$$U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\} \quad (1)$$

3.2 确定评判集 V

评判集是评价者对评价对象可能作出的各种评价结果所组成的集合,不论评价层次多少,评判集只有一个。评判集一般可表示为:

$$V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\} \quad (2)$$

3.3 建立评价因素权重集 A

在评价因素集中,各评价因素重要程度不同,对每个评价因素赋予不同的权重值,通过层次分析法(AHP)计算得到各权重集,见式(3)。

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\} \quad (3)$$

其中,各权重满足归一化和非负性条件,见式(4)。

$$\sum_{i=1}^m a_i = 1, a_i \geq 0 \quad (4)$$

3.4 一级模糊综合评价

单独对每一类各因素进行综合评价,确定评价对象对评价因素的隶属度即为一级模糊评价。第 i 类因素的模糊综合评价矩阵 R 为:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1j} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{i1} & \cdots & r_{ij} \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中: r_{ij} 为因素集 U 中第 i 个因素对评判集 V 中第 j 个元素的隶属度。

U 中的因素个数决定 R 的行数, V 中元素个数决

定 R 的列数。考虑了权重后,得到一级模糊综合评价结果 B ,见式(6)。

$$B=A \cdot R=\{a_1, a_2, \cdots, a_m\} \cdot \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix}=\{b_1, b_2, \cdots, b_n\} \quad (6)$$

式中:“ $\cdot$ ”为模糊算子。

3.5 多级模糊综合评价

多级模糊综合评价法在一定程度上与人脑的思维活动很相似,可以根据实际评价体系的需要进行二级、三级,甚至更高级别的评价。多层次模糊综合评价方法在进行大批量复杂信息的处理时,有经典数学无法比拟的优越性。

不论有多少层次,最终总是要得到最高层次即目标层的综合评价结果。一级模糊综合评价仅是最低层次综合评价的结果,它只是上一层次单因素评价。为了继续求出上一层次的综合评价,必须进行二级模糊综合评价。二级模糊综合评价的评价矩阵 R 见式(7)。

$$R=\begin{bmatrix} B_1 \\ \vdots \\ B_m \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} A_1 \cdot R_1 \\ \vdots \\ A_m \cdot R_m \end{bmatrix} \quad (7)$$

式中: B_i 为单因素评价集; A_i 为单因素中各指标的权重集; R_i 为单因素评价矩阵。则二级模糊综合评价集 B 为:

$$B=A \cdot R=A \cdot \begin{bmatrix} A_1 \cdot R_1 \\ \vdots \\ A_m \cdot R_m \end{bmatrix}=\{b_1, b_2, \cdots, b_n\} \quad (8)$$

用框图来表示上述两级模糊合成过程,二级模糊综合评价过程如图1^[3]所示。

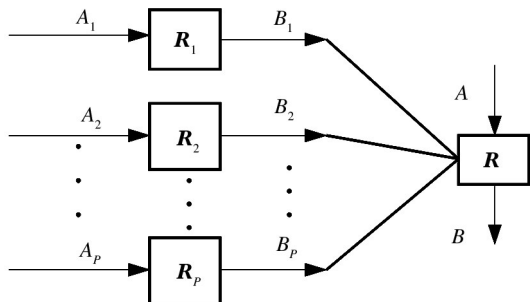


图1 二级模糊综合评价

Fig. 1 Second level fuzzy comprehensive evaluation

通过上述分析,只要给出因素体系中最低层的各变换矩阵,即单因素评价矩阵,再给出各层次的权重值向量,便可求得任意层次中任何综合评价结果和最终的综合评价结果。

4 航空供氧保障作业燃爆事故模糊评价

4.1 构建层次结构模型

将航空供氧保障作业过程中发生燃爆事故作为研究对象。根据发生燃爆事故的要素,构建评价用层次结构模型,如图2所示。

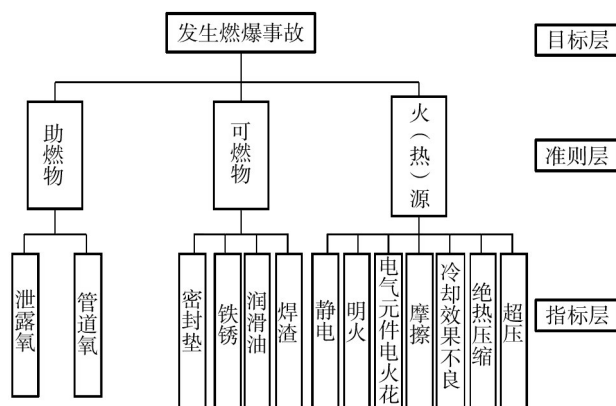


图2 发生燃爆事故的层次结构模型

Fig. 2 Hierarchical structure model for combustion and explosion accidents

4.2 确定因素集和评判集

准则层的三要素为一级评价因素,见式(9)。

$$U=\{U_1, U_2, U_3\} \quad (9)$$

式中: U_1 为助燃物; U_2 为可燃物; U_3 为火(热)源。

指标层的各因素为二级评价因素,见式(10)——(13)。

$$U_1=\{U_{11}, U_{12}\} \quad (10)$$

式中: U_{11} 为泄露氧; U_{12} 为管道氧。

$$U_2=\{U_{21}, U_{22}, U_{23}, U_{24}\} \quad (11)$$

式中: U_{21} 为密封垫; U_{22} 为铁锈; U_{23} 为润滑油; U_{24} 为焊渣。

$$U_3=\{U_{31}, U_{32}, U_{33}, U_{34}, U_{35}, U_{36}, U_{37}\} \quad (12)$$

式中: U_{31} 为静电; U_{32} 为明火; U_{33} 为电气元件电火花; U_{34} 为摩擦; U_{35} 为冷却效果不良; U_{36} 为绝热压

缩; U_{37} 为超压。

将导致燃爆事故的原因作为评判集,见式(13)。

$$V=\{v_1, v_2, v_3, v_4\} \quad (13)$$

式中: v_1 为人员; v_2 为设备; v_3 为环境; v_4 为管理。

4.3 确定权重

指标权重是指各评价因素对方案分类的影响程度,它的确定是综合评价的重要内容^[3]。在目前的评价方法中,权重的确定方法主要有主观赋权法和客观赋权法。主观赋权法的指标权重由专家经验主观判断得到,如层次分析法(AHP)、最小平方法等;客观赋权法根据原始数据间的关系确定权重,如熵值法、相关度法等^[4]。根据所具备的条件,文中采用层次分析法确定权重。

4.3.1 准则层权重

按准则层3个因素相对于目标层的重要程度进行两两比较,运用1—9标度法^[5],构造权重判断矩阵,见式(14)。

$$P=\begin{bmatrix} 1 & 2 & 2 \\ 1/2 & 1 & 1 \\ 1/2 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (14)$$

对矩阵 P 进行一致性验证,见式(15)。

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = 0, RI=0.58, CR = \frac{CI}{RI} = 0 \quad (15)$$

该矩阵具有非常满意的一致性,可以作为 U_1, U_2, U_3 权重的判断矩阵。

对矩阵 P 按列归一化,按行求和后再进行归一化处理,求得 U_1, U_2, U_3 的权重集,见式(16)。

$$A=\{0.5, 0.25, 0.25\} \quad (16)$$

4.3.2 指标层权重

按照上述方法依次求出 U_1, U_2, U_3 中各因素的权重集,见式(17)。

$$\begin{aligned} A_1 &= \{0.1667, 0.8333\} \\ A_2 &= \{0.0858, 0.1727, 0.6875, 0.0540\} \\ A_3 &= \{0.0720, 0.2220, 0.1685, 0.0666, 0.0521, \\ &0.2452, 0.1762\} \end{aligned} \quad (17)$$

4.4 模糊评价

4.4.1 单因素评价

由专家打分给出二级评判的评判矩阵,见式

(18)。

$$\begin{aligned} R_1 &= \begin{bmatrix} 0.2 & 0.4 & 0 & 0.1 \\ 0.3 & 0.5 & 0 & 0.1 \end{bmatrix}, \\ R_2 &= \begin{bmatrix} 0 & 0.4 & 0 & 0.1 \\ 0.4 & 0.3 & 0.2 & 0.2 \\ 0.1 & 0.4 & 0 & 0.1 \\ 0.4 & 0.4 & 0 & 0.2 \end{bmatrix}, \\ R_3 &= \begin{bmatrix} 0.1 & 0.4 & 0.2 & 0.1 \\ 0.3 & 0 & 0 & 0.4 \\ 0.1 & 0.4 & 0 & 0.2 \\ 0.4 & 0.2 & 0 & 0.1 \\ 0.1 & 0.4 & 0 & 0.1 \\ 0.4 & 0.1 & 0 & 0.2 \\ 0.4 & 0.1 & 0 & 0.2 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (18)$$

由式(2)分别求出准则层单因素评判结果,见式

(19)。

$$\begin{aligned} B_1 &= A_1 \cdot R_1 = \{0.2833, 0.4833, 0, 0.1\} \\ B_2 &= A_2 \cdot R_2 = \{0.1594, 0.3719, 0.0345, 0.1227\} \\ B_3 &= A_3 \cdot R_3 = \{0.2908, 0.1715, 0.0144, 0.2253\} \end{aligned} \quad (19)$$

4.4.2 综合评价

由 B_1, B_2, B_3 组成准则层模糊评判矩阵^[5],见式(20)。

$$R=\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} 0.2833 & 0.4833 & 0 & 0.1 \\ 0.1594 & 0.3719 & 0.0345 & 0.1227 \\ 0.2908 & 0.1715 & 0.0144 & 0.2253 \end{bmatrix} \quad (20)$$

则综合评判结果见式(21)。

$$B=A \cdot R=\{0.2542, 0.3775, 0.0122, 0.1370\} \quad (21)$$

将评价结果进行归一化,见式(22)。

$$B=\{0.3255, 0.4834, 0.0156, 0.1755\} \quad (22)$$

5 结论

根据最大隶属度原则,对导致燃爆事故的4类原因(人员、设备、环境和管理)的重要程度进行排序,由大到小依次为设备、人员、管理、环境。

根据以上评价结果,对航空供氧保障作业燃爆事故的预防措施提出了建议。首先要非常重视设备的使用状况,例如加强对设备运行状态参数的监控和调整;严格履行设备日常的维护保养规定,做好设

(下转第116页)

最后,利用训练好的神经网络对余下3组气体进行浓度预测,预测结果及相对误差见表2。

表2 混合可燃气体分析结果
Table 2 Analysis result of mixed gas

	%		
CO体积分数	8.0	9.0	10.0
预测结果	8.0495	9.0331	10.1781
相对误差	0.6189	0.3681	1.7815
H ₂ 体积分数	1.6	1.8	2.0
预测结果	1.6099	1.8066	2.0356
相对误差	0.6187	0.3683	1.7820
CH ₄ 体积分数	16.0	18.0	20.0
预测结果	16.0988	18.0663	20.356
相对误差	0.618	0.3687	1.7801

5 结论

就传感器阵列检测分析混合气体过程中的交叉敏感现象,以及BP神经网络学习算法收敛速度慢、误差曲线易陷入局部最小的问题,提出了传感器阵列与RBF神经网络处理单元构成的气体分析系统,并对CO、H₂和CH₄的混合气体样本进行了实验。实验表明,选取传感器阵列的输出信号,通过已经学习好的RBF神经网络对混合气体进行分析,可以较准

确地反映出混合气体中不同成分的浓度。为可燃混合气体分析提出了一种新的途径,可广泛地用在工业生产、环境保护、安全监测、科学研究等领域。

参考文献:

- [1] 易平,杨秀清,何建新. 人工神经网络在大气环境质量评价中的应用[J]. 装备环境工程,2006,3(5):82—84.
- [2] 马亚彬. 气敏传感器阵列检测系统的研究与设计[D]. 合肥:中国科学技术大学,2009.
- [3] 曲建岭,王磊,高峰. 运用人工神经网络进行混合气体定量分析的研究[J]. 西北工业大学学报,2001,19(3):399—402.
- [4] 姚亚夫,彭昊. 一种基于径向基神经网络的组合预测模型[J]. 郑州大学学报,2008,29(3):137—140.
- [5] 丁涛,周惠成. 基于径向基函数神经网络的预测方法研究[J]. 哈尔滨工业大学学报,2005,37(2):272—275.
- [6] 陈德军,胡华成,周祖德. 基于径向基函数的混合神经网络模型研究[J]. 武汉理工大学学报,2007,29(2):122—126.
- [7] 葛哲学,孙志强. 神经网络理论与MATLAB R2007实现[M]. 北京:电子工业出版社,2007.
- [8] DAVID Sanchez A. On the Number and Distribution of RBF Centers[J]. Neuro-computing, 1995(7):197—202.
- [9] 张愉,童敏明. 基于单一传感器的可燃混合气体RBF网络分析[J]. 传感器与微系统,2008,27(5):15—17.
- [10] 王洪斌,杨香兰,王洪瑞. 一种改进的RBF神经网络学习算法[J]. 系统工程与电子技术,2002,24(6):103—105.

(上接第106页)

备排故或维修后的状态恢复等。其次,重视人员的因素,加强人员的专业技能训练和安全知识培训,避免习惯性违规,减少偶然性违规;持续强化责任感和作风纪律,杜绝公然性违规。此外,不能忽略管理和环境因素的影响。

参考文献:

- [1] 吴电军,罗新荣,郑永坤,等. 基于危险源理论的煤矿风险评价模型研究[J]. 能源技术与管理,2010(1):118—120.

- [2] 陈水利,李敬功,王向公. 模糊集理论及其应用[M]. 北京:科学出版社,2005.
- [3] 佟瑞鹏. 常用安全评价方法及应用[M]. 北京:中国劳动社会保障出版社,2011:200—208.
- [4] 唐承畅,庞志兵,李涛,等. 基于组合权重的某型地空导弹环境适应性模糊综合评价[J]. 装备环境工程,2012,9(2):12—16.
- [5] 王向前,崔杜武. 高校重点学科评估模型的研究与实现[J]. 计算机工程与应用,2008,44(8):232—235.
- [6] 赵玉龙,潘文庚,陈志崎. 模糊综合评价法在仓库电磁防护评估中的应用[J]. 装备环境工程,2011,8(6):3—5.