

感染性物质包装安全评价技术研究

冯智劫^{1,2}, 李学洋^{1,2}, 张江萍¹, 刘年磊², 庞震¹

(1. 天津出入境检验检疫局, 天津 300201; 2. 天津大学, 天津 300072)

摘要: 运用安全评价系统工程原理, 引入人工智能神经网络, 对以往包装安全评价中传统经验法进行了量化计算处理。根据安全评价结果提出了安全措施, 开展了感染性物质包装检测技术研究, 并以标准这种可以共同使用和重复使用的规范性文件作为安全评价输出, 保证感染性物质的运输安全。

关键词: 感染性物质; 包装; 神经网络; 安全评价

中图分类号: TB487; TB489 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)01-0015-05

Research on Safety Evaluation Technology of Infectious Substances Packaging

FENG Zhi-jie^{1,2}, LI Xue-yang^{1,2}, ZHANG Jiang-ping¹, LIU Nian-lei², PANG Zhen¹

(1. Tianjin Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Tianjin 300201, China; 2. Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: Quantitative computation treatment of past experience by traditional method was carried out by using system engineering principles of safety evaluation and artificial neural networks. Safety measures were put forward according to safety evaluation results. Detection technology of infectious substances packaging was studied. The standard was shared and re-use in normative evaluation of the output file as a security to ensure the safe transport of infectious substances.

Key words: infectious substance; packaging; artificial neural networks; safety evaluation

安全评价可以查找、分析和预测感染性物质包装在储运活动中存在的危险、有害因素及可能导致的不良结果, 提出合理可行的安全对策措施, 指导感染性物质正确包装, 避免事故发生, 有重点地采取事故预防措施, 制定应急预案提供科学依据, 从而保证感染性物质的运输安全^[1-2]。近年来国际间危险品运输日益频繁, 危险品包装使用量也越来越大, 包装安全评价方面的量化研究开展不多, 而感染性物质作为一类特殊的危险品, 未涵盖于我国的危险化学品重大危险源辨识中, 其包装形式与其他危险品有较大差异^[3-4]。因此有必要利用人工神经网络模型对感染性物质运输包装在运输过程中的有害因素进行量化计算, 找到高风险因素, 通过在包装的检验过程中对与之相关的性能提出检验要求, 并通过标准化的文件形成检验判定依据, 进而保证感染性物质包装的运输安全。

1 感染性物质包装构成及基本要求

感染性物质属于联合国《关于危险货物运输的建议书·规章范本》列明的 9 类危险物质的第 6.2 项^[5]。通常意义上的危险品包装的是指除了 2 类气体、6.2 项感染性物质和 7 类放射性物质以外危险品所使用的包装。根据其需要盛装危险货物的危险性进行测试, 进而分为 I、II 和 III 3 类包装级别, 在包装上以 X、Y、Z 表示, 分别代表其能够盛装危险品的能力由高到低的顺序^[6-7]。包装容器性能检验包括 4 个基本项目: 跌落试验、渗漏试验、内压试验和堆码试验, 试验方法目前主要依据空运危险货物包装检验安全规范, 以及相关危险品包装性能检测技术标准与法规^[8-12]。感染性物质由于其运输物质的特殊性, 往往要求特殊的时效和主要采用长途空运和短途陆运的方式进行。感染性物质包装运输过程中涉及运输不

收稿日期: 2011-10-27

作者简介: 冯智劫(1973—), 女, 天津人, 博士, 天津出入境检验检疫局高级工程师, 主要研究方向为包装检测及安全评价。

良环境危险,包括跌落、振动、压差和温度变化等,其包装设计的核心是保证内装感染性物质在各种不良运输条件下不会发生泄漏,避免感染周边环境,降低造成大面积人员和生物危害风险。因此感染性物质包装设计应具有多层结构,并满足特殊要求。

1.1 感染性物质包装的构成

感染性物质包装一般采用3层包装系统:内层容器、第2层包装以及外层包装,如A类感染性物质和B类生物物质,见图1和2。感染性物质包装装载标

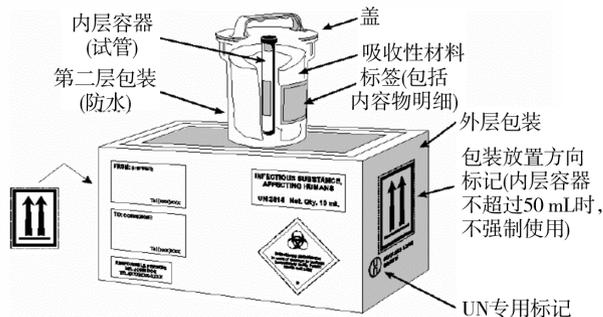


图1 A类感染性物质的包装和标签

Fig. 1 Packaging and labels for class A of infectious substances

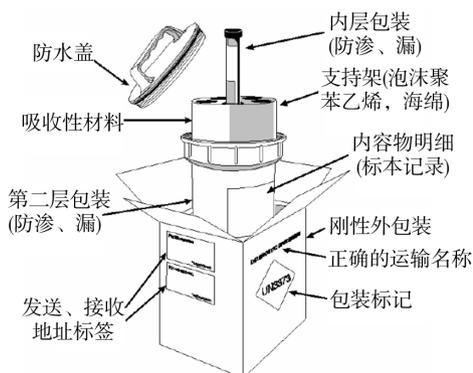


图2 B类感染性物质的包装和标签

Fig. 2 Packaging and labels for class B of infectious substances

本的内层容器应防水、防漏并贴上指示内容物的适当标签。内层容器外面要包裹足量的吸收性材料,以防内层容器打破或泄漏时,能吸收溢出的所有液体。防水、防漏的第2层包装用来包裹并保护内层容器。包装好的内层容器可放在独立的第2层包装中。有些规定中包括了感染性物质包装的体积及重量限度^[5]。

1.2 感染性物质包装的特殊规定^[5-7]

感染性包装在满足危险品包装一般规定的前提下,还需要满足如下规定:

1) 感染性物质的发货人,应保证他准备的包装

件在达到目的地时情况良好,在运输期间不对人及动物构成危险。

2) 液体感染性物质的包装容器应能承受正常运输条件下的压力。

3) 须将逐项列出的内装物清单放在辅助容器与外容器之间。当对运输的感染性物质不了解但怀疑符合列入A类标准时,应在运输单据的正式运输名称之后,在括弧中注明“疑为A类感染性物质”,放在外包装内。

4) 空容器退回发货人或送往别处以前,必须灭菌或消毒,消除任何危险,并把表示其曾装过感染性物质的任何标签或标记除去或涂去。

2 安全评价及BP神经网络基本原理

2.1 安全评价概念及内容

安全评价以实现工程与系统的安全为目的,应用安全系统工程的原理与方法,对工程与系统中存在的危险、有害因素等进行识别与分析,判断工程与系统发生事故、职业危害的可能性及其严重程度,提出安全对策与建议,并制定对应的防范措施与管理决策^[1,2]。安全评价利用安全系统工程原理与方法,识别与评价系统中存在风险的过程,包括危险或危害因素识别、重大危险源辨识、重大危险源危害后果分析、定性及定量评价、提出安全对策和措施等内容。安全评价的基本内容见图3。

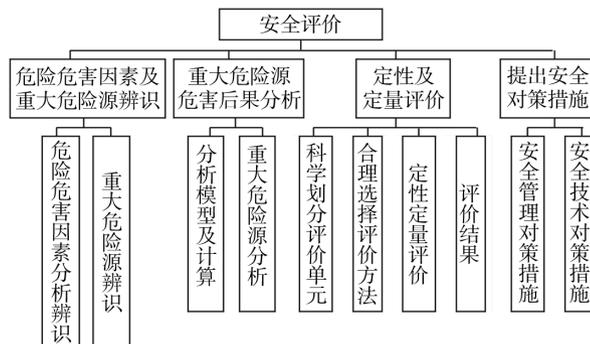


图3 安全评价基本内容

Fig. 3 Basic content of safety evaluation

2.2 人工智能神经网络

人工神经网络由一系列的神经元组成,每个神经元的功能是很有限的,但是将很多神经元组合起来同步工作,却可以完成很强大的逻辑分析等功能。它可以

模拟人的大脑活动,具有良好的自学习、自适应、联想记忆、并行处理和非线性映射的能力,为模式识别、非线性分类、人工智能等研究开辟了新的途径^[13]。人工神经网络学习是一种归纳学习方式,它通过对大量实例的反复学习,由内部自适应过程不断修改各神经元之间相互关联的权值,最终使神经网络的权值分布收敛于一个稳定的范围。人工神经网络可用于相关问题的求解,对于特定的输入模式,神经网络通过前向计算可得到一个输出模型,从而得到输入模式的特定解。在人工神经网络模型中,网络分类方法很多,其中应用最为广泛的网络形式是映射网络^[14]。BP神经网络是映射网络的一种,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,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。BP神经网络模型拓扑结构包括输入层、隐层和输出层。

BP神经网络的提出是由于单层网络的局限性,即单层感知器仅能进行线性分析,对于线性不可分的输入,即使是异或运算也无法进行。由此诞生了前馈多层网络,而BP算法的发展为前馈多层网络的发展提供了助推器,使BP神经网络成为类型众多的人工神经网络中用得最为广泛的一种,其中80%~90%的人工神经网络采用BP网络及其变形。BP神经网络见图4。

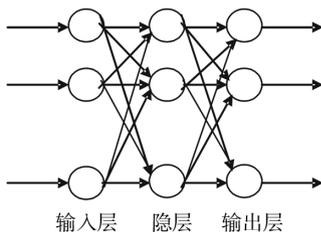


图4 BP神经网络

Fig. 4 BP neural networks

BP神经网络可看作是一个从输入到输出的高度非线性映射。设BP神经网络有 n 个输入神经元, m 个输出神经元, p 个隐层神经元。则隐含层神经元的输出为:

$$x_i^1 = f\left(\sum_{j=1}^n \omega_{ij}^0 x_j + \omega_{i0}^0\right) \quad (i=1,2,\dots,p) \quad (1)$$

输出层神经元的输出为:

$$y_i = \sum_{j=1}^p \omega_{ij}^0 x_j^1 + \omega_{i0}^0 \quad (i=1,2,\dots,m) \quad (2)$$

激励函数采用的 Sigmoid 函数:

$$f(x) = 1/(1 + e^{-x}) \quad (3)$$

样本 k 的误差函数为:

$$E_k = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m (y_{ki} - \bar{y}_{ki})^2 \quad (4)$$

其中: x_j 为输入层神经元 j 的输入值; ω_{ij} 为神经元 i 与神经元 j 之间的连接权值; \bar{y}_{ki} 为神经元 i 在样本 k 作用时的期望输出值; y_{ki} 为神经元 i 在样本 k 作用时的实际输出值。

3 基于BP神经网络的感染性物质包装安全体系

3.1 安全评价体系的建立

研究分析了感染性物质包装件在其整个生命周期中发生事故的原因,结合感染性物质包装主要用于空运的特点,确定了感染性物质包装安全评价指标,并建立了安全评价指标体系,见图5。

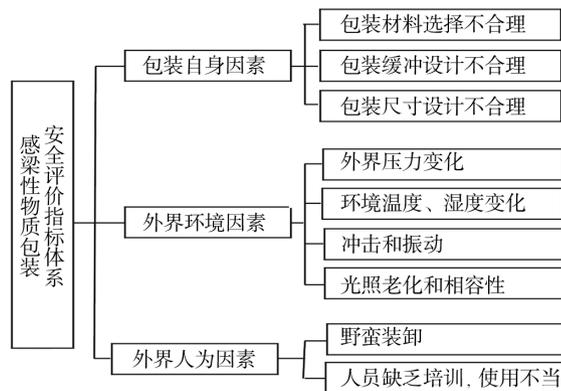


图5 感染性物质包装安全评价指标体系

Fig. 5 Infectious substance packaging safety evaluation system

3.2 指标体系量化分级

根据包装安全评价指标体系,其安全评价有9个评价指标,将各项评价指标的等级分为了4等,划分范围如下:低风险(0~0.25)、中等风险(0.25~0.5)、较高风险(0.5~0.75)、高风险(0.75~1)。通过量化处理对运输、检验和使用方面的专业人士进行的问卷调查结果,按照A类和B类感染性包装进行统计,结果见表1和2。

表 1 A 类感染性包装评价指标量化结果

Tab.1 Quantization of class A of infectious packaging evaluation

评价指标	低风险	中等风险	较高风险	高风险
压力变化	0	0.32	0.35	0.33
冲击和振动	0	0.17	0.24	0.61
温度和湿度	0.10	0.39	0.32	0.19
老化和相容性	0.09	0.64	0.17	0.10
野蛮装卸	0	0.28	0.50	0.22
人员误操作	0.04	0.38	0.47	0.11
不合理堆码	0.16	0.30	0.30	0.24
尺寸设计不合理	0.13	0.32	0.29	0.26
缓冲、吸附材料选材不合理	0.01	0.24	0.24	0.51

表 2 B 类感染性包装评价指标量化结果

Tab.2 Quantization of class B of infectious packaging evaluation

评价指标	低风险	中等风险	较高风险	高风险
压力变化	0	0.09	0.28	0.63
冲击和振动	0	0.17	0.32	0.51
温度和湿度	0.13	0.33	0.37	0.17
老化和相容性	0.09	0.64	0.17	0.10
野蛮装卸	0	0.24	0.53	0.23
人员误操作	0.11	0.16	0.31	0.42
不合理堆码	0.14	0.30	0.30	0.26
尺寸设计不合理	0.13	0.32	0.29	0.26
缓冲、吸附材料选材不合理	0.01	0.24	0.24	0.51

4 BP 神经网络用于感染性物质包装定量评价

运用 BP 神经网络进行安全评价,选取 BP 神经网络在包装安全评价中应用^[15]中,关于 8 项安全评价指标的各风险等级量化值以及相应的总风险评价结果,作为该 BP 神经网络的训练样本,见表 3。

表 3 各评价指标量化结果

Tab.3 Quantitative results for each evaluation indicator

序号	低风险	中等风险	较高风险	高风险	总风险
1	0	0.14	0.25	0.61	0.785 4
2	0.09	0.33	0.39	0.19	0.534 7
3	0.05	0.64	0.17	0.14	0.386 2
4	0	0.24	0.53	0.23	0.658 3
5	0.03	0.38	0.48	0.11	0.609 4
6	0.13	0.26	0.29	0.32	0.526 7
7	0.12	0.30	0.34	0.24	0.497 1
8	0.01	0.29	0.21	0.49	0.764 6

其训练网络参数设置如下:最大训练步数为 5 000,计算精度 $E_0=0.000 1$,学习效率 $\eta=0.01$,输入层节点数为 4,输出层节点数为 1,隐含层层数为 1,其节点数为 5,隐含层采用的传递函数为 tansig ,输出层采用 purelin 传递函数。利用 Matlab 编程测试,训练至 500 次后达到目标误差。得到的评价结果见表 4 和 5。

表 4 A 类感染性包装评价结果

Tab.4 Evaluation results of class A infectious packaging

序号	评价指标	评价结果
1	压力变化	0.699 6
2	冲击和振动	0.789 0
3	温度和湿度	0.442 2
4	老化和相容性	0.341 6
5	野蛮装卸	0.653 3
6	人员误操作	0.593 3
7	不合理堆码	0.411 1
8	尺寸设计不合理	0.452 5
9	缓冲、吸附材料选材不合理	0.755 9

表 5 B 类感染性包装评价结果

Tab.5 Evaluation results of class B infectious packaging

序号	评价指标	评价结果
1	压力变化	0.778 6
2	冲击和振动	0.746 1
3	温度和湿度	0.445 0
4	老化和相容性	0.341 6
5	野蛮装卸	0.658 3
6	人员误操作	0.608 9
7	不合理堆码	0.449 3
8	尺寸设计不合理	0.452 5
9	缓冲、吸附材料选材不合理	0.755 9

表 4 和 5 的数据显示,对于 A 类感染性物质包装,冲击和振动、缓冲、吸附材料选材不合理属于高风险因素,压力变化、野蛮装卸以及人员误操作属于较高风险因素;对于 B 类感染性物质包装,压力变化和缓冲、吸附材料选材不合理属于高风险因素,而人员误操作、冲击振动和野蛮装卸属于较高风险因素。

针对安全评价的量化指标选取相应对策。由定量评价的结果可知,缓冲、吸附材料选材不合理在 A 类和 B 类感染性物质包装中,均属于高风险因素,人员误操作、野蛮装卸则属于较高风险因素;而振动和冲击和压力变化则是各自的高风险和较高风险因素。针对包装材质和外界环境变化等客观因素所决定的客观高风险因素,可通过包装设计并在检测中针对存

在的风险极限设置检测要求来避免危害的发生。而对于人员误操作和野蛮装卸这类人为主观因素,可通过进行培训和制定操作规范、技术标准等方式来避免危害发生。

5 安全评价结果的输出

对于每个安全评价活动,均应依据定性和定量评价的结果,突出消除或减弱危险、危害引述的技术和管理措施及建议,以检验技术标准的形式作为本次安全评价活动的输出。作为课题研究成果的一部分,申报、立项、研制并审定完成了《感染性物质包装检验安全规范》(项目标号 20075183-Q-469)。该技术标准除对感染性物质的包装检验提出要求外,还对感染性物质包装的标识和运输提出了规范性意见,对包装运输评价中存在的危险因素,均提出了相应的安全对策,以避免危险的发生。

参考文献:

- [1] 张文海,陈国华,潘游. 危险化学品安全管理及定量评价方法[J]. 化工学报,2004,55(4):682-685.
ZHANG Wen-hai, CHEN Guo-hua, PAN You. Probing into Quantitative Methodology on Safety Management and Assessment of Hazardous Chemical[J]. Journal of Chemical Industry and Engineering, 2004, 55(4): 682-685.
- [2] 张乃禄,刘灿. 安全评价技术[M]. 陕西:西安电子科技大学出版社,2007.
ZHANG Nai-lu, LIU Can. Safety Evaluation Techniques [M]. Xi'an: Xi'an University of Electronic Science and Technology Press, 2007.
- [3] 万敏,陶强,崔鹏. 危险品包装的发展及常见质量问题探讨[J]. 包装工程,2011,32(3):103-106.
WAN Min, TAO Qiang, CUI Peng. Development of Dangerous Goods Packaging and Discussion on Common Quality Problems [J]. Packaging Engineering, 2011, 32(3): 103-106.
- [4] GB 18218-2009, 危险化学品重大危险源辨识[S].
GB 18218-2009, Hazardous Chemicals Major Hazard Identification[S].
- [5] The United Nations Economic Council Committee for Experts on Sub-Committee of Export on the Transport of Dangerous Goods (TDG). UN Recommendations on the Transport of Dangerous Goods-Model Regulations [Z]. 17th Revised Edition United Nations: New York and Geneva, 2011.
- [6] 周建伟,王振林. 危险品包装的安全监督与检测技术[J]. 包装工程,2007,28(8):52-55.
ZHOU Jian-wei, WANG Zhen-lin. Safety Supervision and Detection Technology of Dangerous Goods Packaging[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(8): 52-55.
- [7] 冯智劫. 感染性物质(6.2项)包装研发和检验技术研究[D]. 无锡:江南大学,2009.
FENG Zhi-jie. Packing Development and the Research on Inspection Technology for Infectious Substance (Division 6.2)[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2009.
- [8] GB 19433-2008 空运危险货物包装检验安全规范[S].
GB 19433-2008, Safety Code for Inspection of Packaging of Dangerous Goods Transported by Air[S].
- [9] GB/T 4857.5-1992, 包装运输包装件跌落试验方法[S].
GB/T 4857.5-1992, Packages - Vertical Impact Test Method by Dropping[S].
- [10] GB/T 21279-2007, 危险化学品包装液压试验方法[S].
GB/T 21279-2007, Hydraulic Test Method for Packaging of Dangerous Chemical Products[S].
- [11] GB 12463-2009, 危险货物运输包装通用技术条件[S].
GB 12463-2009, General Specifications for Transport Packages of Dangerous Goods[S].
- [12] The United Nations Economic Council Committee for Experts on Sub-Committee of Export on the Transport of Dangerous Goods (TDG). UN Recommendations on the Transport of Dangerous Goods-Model Regulations Manual of Tests and Criteria[Z]. 5th Revised Edition. United Nations: New York and Geneva, 2010.
- [13] 桂现才. BP神经网络在MATLAB上的实现与应用[J]. 湛江师范学院学报,2004,25(3):79-83.
GUI Xian-cai. Realization of BP Networks and Their Applications on MATLAB[J]. Journal of Zhanjiang Normal College, 2004, 25(3): 79-83.
- [14] 盖登宇,李鸿,马旭梁. 材料加工过程中的建模与数值分析[M]. 西安:西北工业大学出版社,2009.
GAI Deng-yu, LI Hong, MA Xu-liang. Material Processing Modeling and Numerical Analysis [M]. Xi'an: Northwestern University Press, 2009.
- [15] 沈春明,栗兴华,轩大洋. BP神经网络在安全评价中的应用[J]. 工业安全与环保,2008,34(11):59-60.
SHEN Chun-ming, LI Xing-hua, XUAN Da-yang. Application of BP Neural Networks in Safety Assessment[J]. Industrial Safety and Environmental Protection, 2008, 34(11): 59-60.