

· 讲 座 ·

高危粉尘职业暴露的剂量-反应模型对比研究

Comparative study on dose-response model of occupational exposure to high-risk dusts

黄德寅, 李敏嫣, 张倩

(天津渤海化工集团有限责任公司劳动卫生研究所, 天津 300051)

关键词: 粉尘; 职业暴露; 剂量-反应评价; Logistic 模型

中图分类号: R135.2 文献标识码: C

文章编号: 1002-221X(2018)02-0150-02

DOI: 10.13631/j.cnki.zggyx.2018.02.030

高危粉尘对劳动者的危害十分严重,“速发、群发、高发”尘肺病基本都是高危粉尘所致,死亡率、致残率高。因此,如果控制了高危粉尘所致职业病,也就基本解决了我国尘肺病高发的问题。2011年12月31日修改后的《职业病防治法》着重体现了“预防为主、防治结合”的立法方针,并增加对从事高危粉尘等作业实行特殊管理的有关规定。因此,急需开展粉尘职业暴露风险评价技术的研究与应用,为高危粉尘作业实施特殊管理提供科技支撑,预防和控制尘肺病等慢性呼吸系统疾病的发生。

本文提出的高危粉尘的职业暴露风险评价方法是以人群流行病学资料及职业暴露资料为基础,根据目前国际上普遍采用的EPA健康风险评价四步法进行高危粉尘职业暴露风险评价,即风险辨识、暴露评价、剂量-反应评价和风险表征等。其中剂量-反应评价是风险分析的关键步骤,本研究将Logistic模型作为高危粉尘导致尘肺病风险的剂量-反应模型,运用非线性回归分析,通过接尘浓度以及接尘工龄预测尘肺发病率,并与其他职业暴露的剂量-反应模型进行对比研究。

目前国内外主要运用Logistic回归模型、灰色数列预测模型、神经网络模型等方法建立尘肺病的剂量-反应关系,其中Logistic回归模型已得到了广泛应用^[1-4]。本文就Logistic回归模型、灰色数列预测模型、神经网络模型三种剂量-反应模型进行对比。

1 剂量-反应模型简介

1.1 Logistic回归模型

Logistic回归模型是分析疾病与危险因素之间联系的一种统计方法,它可以用来预测不同自变量情况下,发生某病或某种情况的概率大小。

对于 m 个自变量 $X = (X_1, X_2, \dots, X_m)$,多个自变量的Logistic回归模型:

$$\pi = \frac{1}{1 + \exp[-(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_m X_m)]}$$

式中: β_0 —常数项(截距); $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_m$ —回归系数。

1.2 灰色模型

基本思想是用原始数据组成原始序列(0),经累加生成

法生成序列(1),它可以弱化原始数据的随机性,使其呈现出较为明显的特征规律。对生成变换后的序列(1)建立微分方程式模型,即GM模型。GM(1,1)模型表示1阶、1个变量的微分方程模型,新陈代谢模型是其最理想的形式。这是因为任何一个灰色系统在发展过程中,会不断有随机扰动和驱动因素进入并影响系统。用GM(1,1)模型进行预测,精度较高的仅仅是原点数据(0)(n)以后的1~2个数据,即预测时刻越远、预测的意义越弱。而新陈代谢GM(1,1)模型的基本思想为越接近的数据,对未来的影响越大。也就是说,在不断补充新信息的同时,略去意义不大的旧信息,这样的建模序列更能动态地反映系统最新的特征,为一种动态预测模型。

1.3 神经网络模型

人工神经网络(artificial neural networks, ANNs)也简称为神经网络(NNs)或连接模型(connection model),是一种模仿动物神经网络行为特征,进行分布及信息处理的算法数学模型。这种网络依靠系统的复杂程度,通过调整内部大量节点之间相互连接的关系,达到处理信息的目的。

神经网络是近几年迅速发展并被广泛应用的技术。神经网络的实质在于通过学习,不断调整各层神经元节点间的连接权重,从而使网络能最好地描述输入量和输出量间的关系。

在神经网络研究中人们开发了多种网络模型,其中影响最大并且被广泛接受的是Rumelhart和McClelland提出的误差逆传播网络(back propagation),简称BP网络。典型的BP网络是三层前馈神经网络,即输入层、隐含层(也称中间层)和输出层。其基本思想是将一个输入样本,经过权值、阈值和激励函数运算后,将输出值与期望的样本进行比较,若有偏差,则从输出开始反向传播该偏差,进行权值、阈值调整,使网络输出逐渐与希望输出一致。

BP网络的学习由四个过程组成:输入模式由输入层经中间层向输出层的“模式顺传播”过程;网络的希望输出与实际输出之差的误差信号由输出层经中间层向输入层逐层修正连接权的“误差逆传播”过程;由“模式顺传播”和“误差逆传播”的反复交替,进行网络“记忆训练”过程;网络趋向收敛即网络的全局误差趋向极小值的“学习收敛”过程。即模式顺传播→误差逆传播→记忆训练→学习收敛过程。

2 剂量-反应模型比较

对3种预测尘肺发病率的剂量-反应评价模型进行比较(表1),Logistic模型具有方法简单、使用方便,更适用于建设项目职业病危害评价的特点,因此选择Logistic模型作为尘肺病的剂量-反应模型。

收稿日期: 2017-09-29

基金项目: 天津市科技支撑计划重点项目(13ZCZDSY02300)

作者简介: 黄德寅(1962—),女,主任医师,研究方向: 职业卫生与风险分析, E-mail: huang_deyin@126.com。

表 1 三种预测尘肺发病率的剂量-反应评价模型比较

模型	优点	缺点
Logistic 回归模型	相对于人工神经网络方法预测尘肺病发病率的优势在于其方法简单、使用方便，更适用于建设项目及用人单位职业病危害评价	对因变量和回归模型的选择、对因变量的分类可能影响预测结果
灰色模型	不需要大量样本，样本不需要有规律性分布，计算工作量小，准确度高，定量与定性分析结果一致，可用于近期、短期、中长期预测	方法复杂，用于职业病危害评价存在技术难度；随机波动性较大的数据拟合效果较差
神经网络模型	有很好的精确度和普遍的适用性	方法复杂，用于职业病危害评价存在技术难度；无法解释推理过程和依据，需要较长的训练时间；不保证权值收敛到误差平面的全局最小值；网络隐含层数和单元数的选择一般是根据经验或者通过反复实验确定，网络往往存在较大的冗余性；网络的学习和记忆具有不稳定性，如果增加学习样本，需要从头开始训练

3 基于 Logistic 回归模型建立的高危粉尘剂量-反应关系

3.1 建立剂量-反应模型的技术路线

本研究提出的剂量-反应评价方法是通过人群流行病学资料数据，以 Logistic 回归模型建立高危粉尘职业暴露导致尘肺病风险的剂量-反应关系，将影响尘肺病的危害因素作为自变量，发病率作为因变量，进行多因素 Logistic 回归分析，拟合 Logistic 回归模型（图 1）。

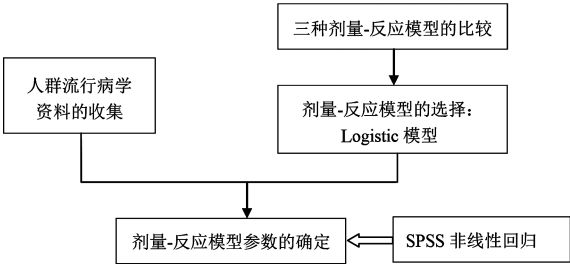


图 1 高危粉尘职业暴露剂量-反应评价技术路线

3.2 基于 Logistic 回归模型建立的高危粉尘剂量-反应模型

某种尘肺病发病概率（ P_i ）与年日接尘浓度、接尘工龄之间的关系如下：

$$P = \frac{\exp [\beta_{i0} + \beta_{i1} \ln ab]}{1 + \exp [\beta_{i0} + \beta_{i1} \ln ab]}$$

式中： β_{i0} 为 Logistic 回归分析的常数项， β_{i1} 为回归系数， a 为接尘浓度（ mg/m^3 ）， b 为接尘工龄（年）。

3.3 煤尘及电焊烟尘职业暴露的剂量-反应模型

本研究重点探讨了煤尘、电焊烟尘职业暴露的剂量-反应模型的建立。在实际应用中，需要通过收集已发布的国内典型行业煤工尘肺、电焊工尘肺的流行病学调查资料，根据各调查实例中的煤尘及电焊烟尘暴露水平和煤工尘肺发病率数据，拟合 Logistic 模型中的参数值^[5]。

例如，发生煤工尘肺的剂量-反应模型公式：

$$P = \frac{\exp [-20.890 + 3.508 \ln ab]}{1 + \exp [-20.890 + 3.508 \ln ab]}$$

发生电焊工尘肺的剂量-反应模型公式^[5]：

$$P = \frac{\exp [-11.814 + 1.526 \ln ab]}{1 + \exp [-11.814 + 1.526 \ln ab]}$$

2 个公式中， a 为接尘浓度，即 8 h 时间加权平均浓度（ mg/m^3 ）， b 为接尘工龄（年）。

4 讨论

本研究运用 Logistic 回归模型的非线性回归分析进行了实例研究，通过导致电焊工尘肺、煤工尘肺的接尘浓度以及接尘工龄等主要因素，预测电焊工尘肺及煤工尘肺的发病概率，并科学提出控制对策。实例应用验证所建立的剂量-反应模型能够预测尘肺病等职业病的风险概率，可以根据职业流行病学资料拟合所建立的剂量-反应公式直接计算、尘肺病风险的剂量-反应关系速查表、基于蒙特卡洛模拟的尘肺病发病风险分布等多种方法进行风险表征，对高危粉尘职业暴露导致尘肺病风险进行预测预警。

我国在风险管理方面的研究起步较晚，目前在风险辨识、评价以及决策时，很大程度上仍依靠经验和直觉，如何进行定量、系统的风险管理和决策是当前各行业、各专业的研究热点。所以，建立并完善定量分析模型，借鉴应用国外先进的风险管理系统或软件，并结合我国国情进一步发展完善预测模型，将是我国风险管理的发展方向。

本研究提出的高危粉尘的职业暴露风险评价技术以人群流行病学资料及职业暴露资料为基础，根据目前国际上普遍采用的 EPA 健康风险评价四步法进行高危粉尘职业暴露风险评价，重点研究高危粉尘职业暴露导致的作业工人尘肺病风险的定量评价方法。所建立的剂量-反应模型可成为尘肺病的高危人群监测与预警的有效技术依据，对降低职业病风险、优化风险管理对策有重要意义。

参考文献：

[1] 郭正军, 武建辉, 尹素凤, 等. 两种神经网络模型预测煤工尘肺发病工龄的性能比较 [J]. 环境与职业医学, 2013, 30 (12): 939-941, 946.

[2] 王晓红, 武建辉, 郭正军, 等. 基于 BP 神经网络的煤工尘肺发病工龄预测组合模型的研究 [J]. 中国煤炭工业医学杂志, 2013, 16 (2): 263-265.

[3] 郑双忠. 基于神经网络的尘肺病预测模型研究 [J]. 中国安全生产科学技术, 2005 (6): 78-81.

[4] 郑双忠, 刘艳军, 陈宝智. 尘肺病发病规律预测模型与评价 [J]. 劳动保护科学技术, 2000 (5): 48-50.

[5] 黄德寅, 李敏嫣, 刘茂, 等. 电焊烟尘职业暴露风险评价方法与应用 [J]. 中国工业医学杂志, 2016, 29 (2): 163-168.