

闪火条件下防火服装热收缩形变的数据挖掘^①

翟丽娜^{1,2}, 李俊^{1,2,3}

¹(东华大学 服装艺术设计学院, 上海 200051)

²(东华大学 功能防护服装研究中心, 上海 200051)

³(东华大学 现代服装设计与技术教育部重点实验室, 上海 200051)

摘要: 随着暖体假人、燃烧假人、三维扫描仪等服装设备的应用, 服装工程的大样本实验产生了大量数据, 采用传统的数据分析方法未能发挥实验中大量样本的优势. 本研究利用 Clementine 软件, 选取了合适的分析方法, 对防火服装的形变等有关数据进行了数据挖掘的尝试. 首先通过变量重要性分析, 研究了热收缩的重要影响因素, 然后根据决策树与神经网络的变量重要性排序, 提取了影响热收缩的关键因素, 并进一步通过对热收缩及关键影响因素的聚类分析, 探索了防火服不同部位区域的热防护特点. 研究发现, 热流量及衣下空气层是影响热收缩形变的关键因素, 手臂及腿部对应服装部位需重点防护, 数据挖掘技术是探索服装舒适性与功能机制与特点的有效工具.

关键词: 数据挖掘; 闪火; 防火服; 热收缩; 热流量; 衣下空气层

Data Mining of Protective Clothing Shrinkage During Flash Fire

ZHAI Li-Na^{1,2}, LI Jun^{1,2,3}

¹(Fashion Institute, Donghua University, Shanghai 200051, China)

²(Protective Clothing Research Center, Donghua University, Shanghai 200051, China)

³(Key Laboratory of Clothing Design & Technology of Ministry of Education, Donghua University, Shanghai 200051, China)

Abstract: With the application of the thermal manikin and fire manikin, mass data are produced during the experiment research in the clothing engineering area. The advantages of the larger samples can not be revealed using the conventional analysis method. Thus, in the paper, by using the Clementine software, data mining method is used to explore the data produced by flash fire experiment. The decision tree method and the neural net method are used to determine the key influence factors of the thermal shrinkage, which are then used in Kohonen cluster to divide protective clothing into different parts. Research shows that heat flux is the most important factor to the degree of shrinkage and the arm and leg are the key parts to be protected. It suggested that data mining is an effective tool to explore the character and function of the protective clothing.

Key words: data mining; flash fire; protective clothing; shrinkage; heat flux; air gap

自数据挖掘技术问世以来, 国内外众多学者和机构进行了大量基础研究和应用探索. 在服装领域, 有以下几个方面的应用^[1-3]. (1)服装市场销售方面, 例如基于粗糙集与神经网络的市场营销与预测、客户群体的识别和目标市场分析^[4,5]. (2)服装企业生产管理方面, 例如服装计划决策支持、服装信息化平台构建与反馈^[6-9].

(3)服装人体工效学方面, 例如基于聚类分析的三维人体建模、人体体型分类^[10-12]. (4)服装性能评价方面, 如服装加工性能评价^[1]、服装舒适性能评价等^[13].

其中应用比较广泛的是服装市场销售、企业生产管理 etc 社会科学方面. 在自然科学方面, 特别是防护服装舒适性及功能评价方面, 现有研究多采用传统的

① 基金项目:国家自然科学基金(51106022);上海市教委科研创新项目(12ZZ068);教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-10-0321);中央高校基本科研业务费专项基金(11D10715)

收稿时间:2014-02-11;收到修改稿时间:2014-04-08

数学统计学方法(如方差分析、T 检验、相关性检验等). 究其原因, 是因为服装性能评价方面往往采用人体抽样实验的手段进行, 而人体着装实验的流程复杂, 实验者很难对大量人群进行数据采集, 因而抽样实验的样本量小、数据维度低. 例如, 学者^[13]曾采用人工神经网络的方法建立了服装舒适性评价的心理感知模型, 但是由于其样本量很小, 仅为 6 名受试者, 因此未能充分发挥数据挖掘技术对于海量数据隐藏关系进行处理的优点.

20 世纪以来, 暖体出汗假人及燃烧假人系统的构建实现了机器替代人体进行服装热湿或热防护性能评价的过程, 这些设备应用过程中, 系统产生了大量数据. 然而由于数据分析的结果抽象, 不能直观地指导实际生产应用, 因此, 还未有学者利用数据挖掘方法分析这些数据之间的关系, 并根据分析结果建立理论与应用的指导关系.

因此, 本文利用 Clementine 软件对闪火条件下防火服热收缩的有关数据进行了数据挖掘的尝试, 旨在探求数据挖掘技术应用在服装舒适功能性评价方面的可行性. 本文通过灵活选取合适的数据挖掘方法, 解释了服装热收缩性能的影响因素, 并通过抽象的聚类分析结果, 总结了服装各部位热防护性能的相关规律.

1 防火服装的热收缩性能与数据挖掘

防火服是为了防止火灾中烈火或高温环境中潜在明火对人体造成伤害的服装. 然而, 高温或闪火环境下, 防火服装将发生一定的收缩形变, 使得衣下空气层厚度减小, 热防护性能受到影响^[14]. 另外, 发生收缩形变的服装若直接接触人体, 则将会对人体造成更直接的灼烧伤害.

利用燃烧假人进行闪火实验可模拟人体穿着防护服装的火场情形, 使用捺印法对防火服装各部位形变加以标定, 即可对闪火条件下防火服装各部位的收缩进行定量研究. 同时, 燃烧假人系统^[15]可以计算假人各部位传感器的热流量等数据, TC²三维扫描系统可对防火服装及人体之间空气层进行精确测量^[16]. 因此, 燃烧实验前后产生了包括热流量、衣下空气层、收缩率等大量的实验数据, 这些数据之间存在着错综复杂的关系, 如何选取合适的分析方法, 有效地理解抽象的分析结果, 并指导实际应用工作, 成为研究过程中的难点. 本文对以上几个问题进行了有关尝试.

2 数据挖掘过程

2.1 实验数据的获取与提取

通过 10 次燃烧试验对防火服装闪火前后各部位的形变量进行研究. 首先利用 TC² 三维人体扫描仪通过模型重合得到各部位衣下空气层厚度, 然后通过燃烧假人系统采集服装各个部位瞬时的热流量值, 最后使用捺印法测量计算了服装 118 个部位的收缩率. 具体实验步骤过程及实验条件在文献^[17]中有详细阐述. 本研究中, 将服装每个部位看作一个个案, 将实验 10 件服装的 1180 条个案及包括热流量等 6 个变量进行数据整理, 共得到 1180*6, 共 7080 个数据, 然后对数据进行初步样本处理. 首先通过 Data Audit 节点进行样本数据的质量探索, 完整变量占到 85.71%, 完整样本占 97.4%, 说明这份数据总体比较满意, 仅需要对一些离群点进行修正. 本研究选择 Coerce 方法修正.

2.2 数据挖掘的应用

2.2.1 热收缩的影响因素及重要性分析

在修正基础上, 选用 Feature Selection 节点对收缩率的影响进行变量重要性分析, 结果如图 1 所示, 说明所选取的变量均为重要变量, 即燃烧时间、部位、热流量、衣下空气层厚度、面料规格、动静状态等因素都对防火服的热收缩性能有重要影响.

Rank	Field	Type	Importance	Value
1	Duration	Ordered Set	Important	1.0
2	Location	Set	Important	1.0
3	Heat flux	Range	Important	1.0
4	Air gap	Range	Important	1.0
5	Material	Set	Important	1.0
6	Status	Flag	Important	0.999

图 1 变量重要性分析结果

(1) 燃烧时间

燃烧时间通过不断累积对热收缩造成持续影响, 在同等情况下, 燃烧时间越长, 单位面积接收的热蓄积就越高, 因此纤维的收缩形变将会越明显.

(2) 部位

服装不同部位的面料具有不同的热暴露、经纬方向等属性, 因此会造成不同程度的热收缩. 例如, 腋下部位并没有直接暴露于火场中, 因此发生热收缩程度小于直接暴露于火场的前胸部位. 又如, 若面料的经向与重力方向一致, 则由于受到重力作用, 其经向较难收缩.

(3) 热流量

热流量是影响热收缩形变的最重要的因素. 同等燃烧时间条件下, 热流量高的部位热蓄积较大, 因此面料更易发生收缩形变.

(4)衣下空气层

衣下空气层的厚度决定了面料潜在收缩的范围与能力, 在同等热蓄积的情况下, 若衣下空气层越厚, 则面料具有越大的潜在收缩空间; 而对于衣下空气层较薄的部位, 即使面料具有发生热收缩的趋向, 但是由于受到空间的限制, 热收缩则不能进一步发生.

(5)服装面料

服装面料是影响热收缩的本质原因, 本实验中使用了三种不同克重的 Nomex 面料, 不同克重的服装面料具有不同的厚度及经纬密度, 也决定了纤维不同程度的热收缩能力.

(6)燃烧状态

燃烧状态的重要性参数值为 0.999, 说明这个因素也是影响热收缩的重要指标, 但是重要性不及前五个因素. 这说明在闪火条件下, 旋转状态与静止状态对热收缩形变来说并非关键因素.

2.2.2 提取热收缩影响因素中的关键因素

虽然通过变量重要性分析了解到燃烧时间、部位、热流量、衣下空气层厚度、面料规格、动静状态等因素都对防火服的热收缩性能有重要影响, 但是未能体现哪些因素是影响热收缩的关键因素, 因此, 本研究借助了神经网络及决策树的方法进行了关键因素的探索.

理论上, 分类预测是通过对现有数据的学习, 使模型具备对未来新数据的预测能力. 然而, 在实际应用的本例中, 使用两种分类预测方法并不是为了建立热收缩的预测模型, 而是通过研究分类预测过程中系统优先选择的分类变量, 探索影响热收缩的关键因素.

(1)决策树及神经网络分类预测

在决策树分类预测中, 本例选择了自动建立分类回归树, 并自动完成树生长和剪枝. 结果如图 2, 3 所示.

从图 2 及图 3 可知, 决策树算法得到的是一棵四层的决策树. 决策树的第一个最佳分组变量是热流量, 然后是衣下空气层、部位、燃烧时间等等, 在生成的变量筛选中显示, 所有变量均进入了模型, 但是其中热流量及衣下空气层的重要性排在前两位, 因此热流量及衣下空气层是影响热收缩的关键的两个因素.

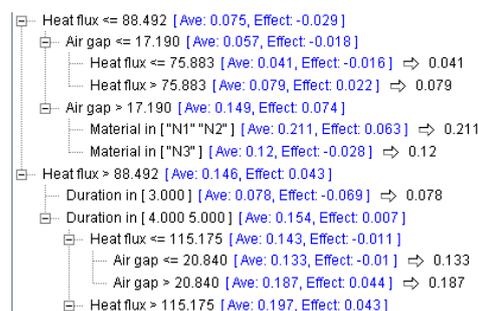


图 2 决策树的分类规则(部分)

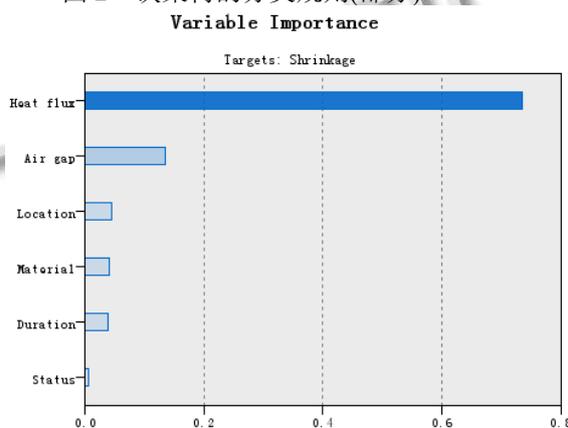


图 3 决策树算法变量的重要性排序

在人工神经网络分类预测方面, Clementine 软件提供了 B-P 反向传播网络及径向基函数网络两种网络算法, 本研究选用的是 B-P 反向传播网络, 运用简单算法, 使用系统默认参数值进行. 结果如表 1, 图 4 所示.

表 1 神经网络的预测结果

Result	Type
Estimated accuracy	87.206
Input Layer	9
Hidden Layer	3
Output Layer	1

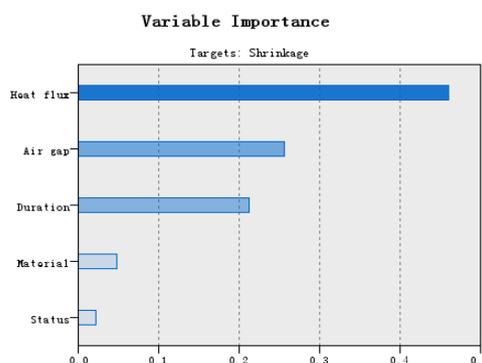


图 4 神经网络算法变量的重要性排序

由图表可得,模型的预测精度为 87.206%,其中有 9 个输入节点,1 个隐层,3 个隐节点,1 个输出节点。变量重要性中数值最高的是热流量,然后是衣下空气层、燃烧时间等等,而部位变量并未进入模型。

(2)热收缩与其关键影响因素

从决策树及人工神经网络算法的分类预测过程可以发现,两种方法在进行分类预测时,均选取热流量及衣下空气层两个变量作为优先的分类标准,由此可得,热流量与衣下空气层是影响热收缩的关键的两个因素。

为了进一步分析热流量及衣下空气层两个关键因素与热收缩的关系,将热流量及衣下空气层两个变量与收缩率进行相关性分析,结果如表 2 所示。Strong 的检验标准为概率-p 值大于 0.95。

表 2 热流量与衣下空气层和收缩率的相关系数

Shrinkage	Correlation	Valid
Heat flux	0.519	Strong
Air gap	0.392	Strong

闪火条件下,火焰直接接触防火服装的面料层,通过面料层将热量传递给衣下空气层,然后作用于模拟的皮肤层^[18]。结合表 2 可知,热流量以及衣下空气层对热收缩具有显著性影响,且属于正相关关系,即热流量越大,衣下空气层越大,则热收缩形变就越大。热流量和衣下空气层是影响热收缩的两个关键因素。

2.2.3 热收缩与各部位的热防护性能

织物形态的动态变化将会影响服装的动态热防护性能,且在闪火之后的一段时间内对衣下热交换产生持续作用。因此,热收缩是服装热防护性能的重要影响因素^[19]。

然而不同部位发生热收缩的特点不同。若热收缩是由于高热流密度引起的,而衣下空气层厚度不足,则会导致服装面料层接触人体,对人体造成直接的灼烧伤害,因此,热收缩受到热流量及衣下空气层的影响后,三个因素对服装防护性能将产生耦合影响。所以,对热流量、衣下空气层、热收缩三个变量进行聚类分析,可以根据不同部位热收缩发生的不同特点,将服装划分为不同的热防护特点区域。

此时,应将整件服装看做一个整体,根据热流量、衣下空气层、热收缩三个变量对服装部位进行区域划分。因此在数据预处理阶段,对 10 件服装的三个变量

分别求取了每个部位的平均值,得到 118*4,共 472 个数据,然后通过 Data Audit 节点进行样本数据的质量探索,发现完整变量占到 100%,完整样本占 100%,说明这份数据总体非常满意,对一些离群点进行提出修正。本研究同样选择了 Coerce 方法修正。

Clementine 软件在探索数据内部结构方面提供了多种模型,例如 K-means 模型,两步算法模型等,本文选取的是 Kohonen 网络聚类的方法。该方法使用欧氏距离作为亲疏的测度,适合数值型变量。

为了与燃烧系统输出的烧伤分布图统一,得到 4 类不同的防护等级区域,这里定义在 Expert 中输入宽度为 4。分析结果如图 5 所示:

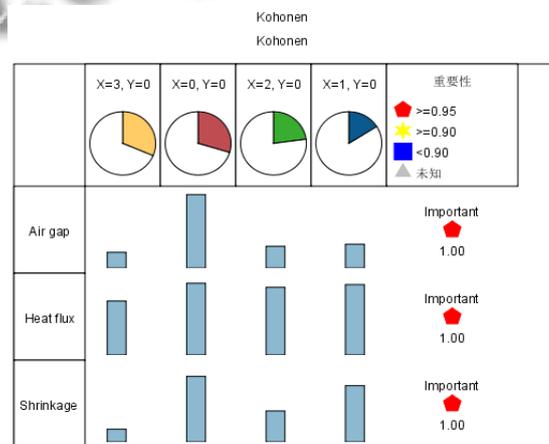


图 5 Kohonen 网络聚类结果

根据图表可以看出:

第 1 类($X=0$): 衣下空气层较大,热流量较大,收缩率也比较大。属于正常范畴。

第 2 类($X=1$): 衣下空气层较小,热流量较大,热收缩率也较大。衣下空气层较小说明热收缩的能力较小,然而却发生了较大的收缩形变,因此这些部位的服装很可能贴近人体,造成直接的灼烧伤害,需要重点保护。

第 3 类($X=2$): 衣下空气层、热流量、收缩率均一般水平,与第一类相对,可发现,热流量较大时,如果衣下空气层比较大,则收缩具有潜在空间,因此热收缩较大。如果衣下空气层较小,则热收缩潜在空间小,热收缩值也小。因此热收缩与衣下空气层呈正相关,属于正常范畴,可以算作一般防护区域。

第 4 类($X=3$): 热流量不大,衣下空气层、热收缩均很小,因此可算作非重点防护区域。

进一步,将服装的118个部位对应的4类分别用红色、紫色、黄色、灰色四种颜色表示,给对应部位填充代表类别的不同的四种颜色,结果如图6所示。

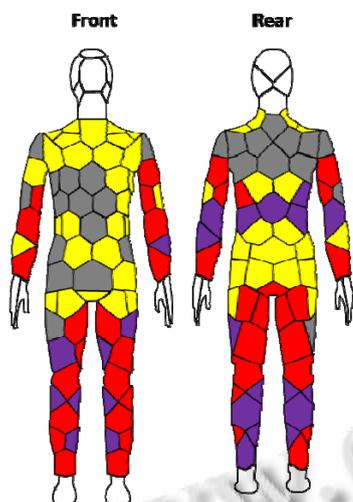


图6 防火服防护性能部位划分

从图中可以看出,防火服的手臂及腿部对应部位热流量、热收缩均较大,因此需要重点防护,而前胸、后肩部的危险等级比较低,其他部位也属于一般防护区域.本防护服装部位划分与燃烧分布图不同点在于,烧伤分布图从人体生理角度显示了热暴露之后各部位的烧伤情况,而此图从服装的角度探讨了不同部位的不同热防护性能特点。

3 结论

近年来,随着计算机技术、通讯技术、网络科技的飞速发展,电子格式存储的数据和信息发生了急剧增长^[20],数据挖掘技术可以从大量的数据库中提取所需的有效信息、发现未知的、蕴含的信息和模式,然后根据信息做出合理预测^[21].在服装舒适性与功能评价方面,传统的人体受试试验的样本小,数据少,因而适合采用数学统计学的方法进行分析预测,如今,随着服装测试技术设备的完善,假人系统、三维人体扫描系统等实验工具可获得多纬度、大量的数据结果.如何恰当地引入数据挖掘方法,选用合适的分析手段,有效地理解抽象的分析结果,并指导实际应用工作,成为服装舒适性、功能性评价的关键课题.本文首次利用大样本实验数据,利用Clementine软件对闪火条件下防火服装的有关数据进行了数据挖掘的尝试,得到了以下结论。

(1)热流量是服装收缩形变的主要影响因素,其次是衣下空气层厚度,另外燃烧时间、燃烧状态等因素也会对收缩形变产生一定影响.这一结果与使用传统数学分析方法的结果是一致的^[17].

(2)理论上,决策树与人工神经网络等分类预测方法常被用来建立预测模型,但在实际应用中还可以通过其预测分类规则中的变量重要性排序,提取影响因变量的关键因素。

(3)根据不同部位热收缩发生条件的不同特点,可以把防火服划分为四个区域,其中手臂、腿部等对应服装区域热蓄积与热收缩较大,是防护性能较脆弱的部位,需进行加强防护。

本文使用数据挖掘的方法对服装领域的实验数据进行了分析尝试,旨在探求数据挖掘算法在服装实验领域的可行性,因此在程序中均采用了系统默认的简单参数设置.在今后具体研究应用中仍需根据实验数据特征对参数进一步深入分析,调整,以获得更为精确的模型及更有效的理论分析。

参考文献

- 1 张澜,朱光尧.人工神经网络技术在服装上的应用.山东纺织科技,2003,(2):32-34.
- 2 任天亮.数据挖掘在现代服装行业中的应用.山东纺织科技,2009,(4):40-42.
- 3 张国强,张增强,贺咏梅.BP神经网络在纺织服装上的应用.山东纺织科技,2013(2):37-40.
- 4 沈蕾.上海家庭服装消费决策行为的系统整合模型及其市场应用[学位论文].上海:东华大学,2002.
- 5 崔寅舟.关联规则和时序模式挖掘技术在服装专卖店中应用的研究[学位论文].上海:上海交通大学,2012.
- 6 孙永剑,李仁旺,赵匀.基于数据挖掘的服装计划决策支持系统.机电设备,2004,(5):13-16.
- 7 孙永剑,李仁旺,韦波.数据挖掘在服装企业决策支持中的应用.浙江工程学院学报,2004,(4):21-24.
- 8 索剑.品牌服装企业数据仓库的构建及数据挖掘设计.计算机与信息技术,2009,(3):75-78.
- 9 殷存举.数据挖掘技术在服装生产企业CRM构建中的应用研究[学位论文].苏州:苏州大学,2009.
- 10 东苗,郝矿荣,丁永生.基于模糊神经网络的服装号型推荐专家系统.微型电脑应用,2010,(3):21-23,26,69,70.
- 11 齐行祥.基于个性化虚拟人台的服装合体性评价模型研究

- [学位论文].上海:东华大学,2011.
- 12 胡觉亮,董建明,何瑛,邹奉元.基于人工神经网络的服装结构设计.纺织学报,2006,(2):49-52.
- 13 李俊,韩嘉,孙菲菲.基于心理感知的服装舒适感觉评价与预测.纺织学报,2006,(10):26-31.
- 14 Shalev I, Barker RL. Predicting the thermal protective performance of heat-protective fabrics from basic properties. Performance of Protective Clothing: ASTM STP 900. Philadelphia. American Society for Testing and Materials, 1986. 358-375.
- 15 王敏,李小辉.我国建成国际领先的服装燃烧假人系统—“东华火人”.中国个体防护装备,2011,(5):54-55.
- 16 王云仪,张雪,李小辉,等.基于 Geomagic 软件的燃烧假人衣下空气层特征提取.纺织学报,2012,(11):102-106.
- 17 李俊,翟丽娜,王敏,李小辉.闪火中防护服装的形变及其影响因素.纺织学报,2014,(1):95-101.
- 18 Ghazy A, Bergstrom DJ. Influence of the air gap between protective clothing and skin on clothing performance during flash fire exposure. Heat and Mass Transfer 2011, 47: 1275-1288.
- 19 Song, GW. Modeling thermal protection outfits for fire exposures [Ph.D. Thesis]. Raleigh, North Carolina: PhD Dissertation, North Carolina State University, 2002.
- 20 崔彩霞.文献智能分类方法.北京:气象出版社,2009.
- 21 刘世平.数据挖掘技术及应用.北京:高等教育出版社,2010.