

“高温作业专用服装设计”的数学模型研究

◆谭文森 丛 静

(辽宁科技学院)

摘要: 高温防护工作是公共安全领域的重要研究方向, 高温作业服装广泛应用于航空航天、工人作业、消防及军事等领域。本文主要研究了在给定高温作业专用服装材料参数及工作时间的条件下, 利用 Python 环境编程和 MATLAB 软件对用假人模拟得到的实验数据进行预处理, 建立数学模型, 得到人体皮肤外侧温度随环境温度变化的规律, 从而计算出人体皮肤外侧温度分布情况并进行检验。

关键词: 热传递方程; 高斯曲线拟合; 热防护服; matlab

一、“高温作业专用服装设计”的数学模型概述

高温防护工作是公共安全领域的重要研究方向, 高温作业服装广泛应用于航空航天、工人作业、消防及军事等领域。高温作业专用服装通常由三层织物材料构成, 记为 I、II、III 层, 其中 I 层与外界环境接触, III 层与皮肤之间还存在空隙, 将此空隙记为 IV 层。

假人具有可重复性和高精度性的特点, 因此当设计专用服装时, 我们将体内温度控制为 37℃ 的假人放置在实验室的高温环境中, 在确定专用服装材料的参数值——即 I、II、III、IV 层的密度、比热、热传导率和厚度范围的情况下, 测得 90 分钟时间内, 外部环境温度与假人皮肤外侧的温度作为我们的实验数据。

二、“高温作业专用服装设计”的数学模型分析

我们根据实验数据, 采用传热模型, 运用傅里叶传热方程, 观察给出的假人皮肤温度与时间的变化关系。我们利用 MATLAB 进行高斯函数拟合, 得出相关系数与拟合函数, 验证了其线性关系, 建立了假人皮肤外侧的温度变化情况的数学模型。利用所建立的数学模型, 计算假人皮肤外侧的温度分布, 并生成温度分布的 Excel 文件, Excel 文件中的计算数据与实际测量的温度作对比, 以检验所建立的数学模型的准确性。

三、“高温作业专用服装设计”的数学模型的建立

首先, 我们通过 python 进行检验, 编写代码, 进行数据导入与分析: 得到如图 1 所示的结果。

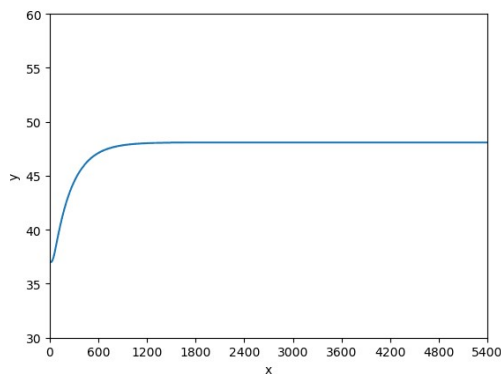


图 1 温度随时间的变化关系

横坐标表示时间, 纵坐标表示温度。由图我们可以看出 90 分钟的温度分布变化。随着时间的增长, 温度从近似线性的速度增长到缓慢的与时间水平。我们将对温度增长阶段进行分析。

拟合曲线:

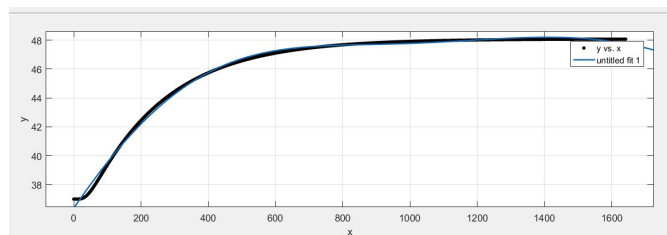


图 2: 对 1645 秒之前的曲线拟合 (曲线 2)

其次, 我们明确的知道环境温度即为 I 层左侧开始传导的温度, IV 层右侧即为假人皮肤的温度, 我们对测得的 90 分钟实验

数据进行观察, 可以得到初始时刻人体温度为 , 从 1645s 开始人体温度稳定为 , 并保持不变。可以推断出, 此时的热传递过程, 已经达到稳态, 是一个常数函数。因此我们对 1645 秒之前的数据进行讨论, 利用 MATLAB 软件, 再次进行高斯曲线拟合, 得到如图 2 所示的结果。

拟合系数及参数 (如图 3):

Results

General model Gauss2:

$$f(x) = a1 * \exp(-(x-b1)/c1)^2) + a2 * \exp(-(x-b2)/c2)^2)$$
 Coefficients (with 95% confidence bounds):
 a1 = 47.45 (46.94, 47.95)
 b1 = 1573 (1517, 1630)
 c1 = 1707 (1462, 1952)
 a2 = 17.36 (11.16, 23.56)
 b2 = 203.7 (173.3, 234.1)
 c2 = 736.4 (659.4, 813.4)

Goodness of fit:
 SSE: 38.38
 R-square: 0.9972
 Adjusted R-square: 0.9972
 RMSE: 0.1532

图 3: 拟合曲线 2 的参数及方程系数

得拟合方程:

拟合系数及参数表中, 各参数意义如下:

SSE: 组内方差;

R-square: 相关系数 (确定系数);

DFE: 误差自由项;

Adjusted R-square: 自由度调整 r 平方;

RMSE: 均方根 (标准差);

MSE: 均方差;

利用所建立的数学模型, 计算假人皮肤外侧的温度分布, 并生成温度分布的 Excel 文件, Excel 文件中的计算数据与实际测量的温度作对比, 发现拟合的数据准确, 所以所建立的数学模型是准确性。

我们将会进一步研究热传递模型, 通过热防护性能测定和热防护服内部传热模型数据研究, 直观体现热防护性能, 测定出最优厚度值, 并平衡防护服装的舒适性、实用性等。

参考文献:

- [1]《数学建模》(第四版): 叶其孝, 姜启源等译, 机械工业出版社, 出版日期: 2009.08;
- [2]《数学建模方法与分析》: 米尔斯切特, 机械工业出版社, 2005 年 6 月出版;
- [3]辛丽莎, 李俊, 王云仪. 防护服装功能设计模式研究[M]. 纺织学报. 2011
- [4]王金永. 基于粒子群优化算法的聚类分析研究[D]. 山东: 青岛理工大学, 2016.
- [5]胡守信, 李柏年. 基于 Matlab 的数学实验[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [6]卢琳珍, 徐定华, 徐映红. 应用三层热防护服热传递改进模型的皮肤烧伤度预测[A]. 纺织学报. 2018.01
- [7]潘斌. 热防护服热传递数学建模及参数决定反问题[D]. 浙江理工大学. 2017.
- [8]郭晓芳, 李俊. 防护服装的应用及发展趋势[J]. 中国个体防护装备. 2007.

作者简介: 谭文森, 辽宁科技学院, 曙光大数据学院, 本科在读, 研究方向: 计算机科学与技术专业。

丛静, 辽宁科技学院, 教学评价与教师发展中心, 研究方向: 应用数学专业。

课题项目: 辽宁科技学院校级大学生创新创业训练计划—创新训练项目“高温作业专用服装——三层热防护服防热条件设计”(项目编号: 201911430070)。