**高温作业专用服装设计**

**摘要**

热防护服装是应用最广泛的特种防护服装, 目前关于更多热防护服装的设计集中在热防护性能测定、建立热防护服装内部传热模型、发展测定热防护性能的试验方法和实验装置和热防护服装舒适性评价等。本文基于一定的环境温度下，对高温环境下经过热防护服传热到假人皮肤的整个热传导模型进行研究。

针对问题一，我们首先对90分钟测试的数据进行处理，可以得到初始时刻人体温度为，时间在1745s开始人体温度变为并保持不变。我们对0s和1745s这个过程的数据利用MATLAB软件进行三阶拟合，得到皮肤温度与时间拟合关系为。我们接下来建立从I层左侧，即环境温度通过热防护服到假人皮肤的整个热传导模型，我们分为两个部分，即防护服不同材料间的传导模型和IV层到皮肤之间的空气的传导模型。最后综合上述模型和皮肤温度与时间的拟合关系，利用MATLAB软件绘制出整个传热模型过程的温度三维分布图。

针对问题2，此时环境温度变为了，我们在模型一的热传导模型基础上，考虑确保工作60分钟时，假人皮肤外侧温度不超过47ºC，且超过44ºC的时间不超过5分钟。在以上约束的条件下建立约束模型，利用LINGO软件求解得出II层的最优厚度为。

针对问题3，此时环境温度变为了，并且此时我们需要求解的是II层和IV层两个未知量的最优厚度，我们在模型二的基础上，结合规划约束模型，利用LINGO软件求解得出II层的最优厚度为，IV层的最优厚度为。

**关键字:** 热防护服；热传导；MATLAB；温度三维分布图；最优厚度

**一、问题重述**

在高温环境下工作时，人们需要穿着专用服装以避免灼伤。专用服装通常由三层材料材料构成，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。

为设计专用服装，将体内温度控制在37ºC的假人放置在实验室的高温环境中，测量假人皮肤外侧的温度。为了降低研发成本、缩短研发周期，请你们利用数学模型来确定假人皮肤外侧的温度变化情况，并解决以下问题：

1. 专用服装材料的某些参数值由附件1给出，对环境温度为75ºC、II层厚度为6 mm、IV层厚度为5 mm、工作时间为90分钟的情形开展实验，测量得到假人皮肤外侧的温度（见附件2）。建立数学模型，计算温度分布，并生成温度分布的Excel文件（文件名为problem1.xlsx）。

(2) 当环境温度为65ºC、IV层的厚度为5.5 mm时，确定II层的最优厚度，确保工作60分钟时，假人皮肤外侧温度不超过47ºC，且超过44ºC的时间不超过5分钟。

(3) 当环境温度为80时，确定II层和IV层的最优厚度，确保工作30分钟时，假人皮肤外侧温度不超过47ºC，且超过44ºC的时间不超过5分钟。

**二、问题分析**

针对问题一，我们首先对90分钟测试的数据进行处理，可以得到初始时刻人体温度为，时间在1745s开始人体温度变为并保持不变。我们对0s和1745s这个过程的数据利用MATLAB软件进行三阶拟合，得到皮肤温度与时间拟合关系为。我们接下来建立从I层左侧，即环境温度通过热防护服到假人皮肤的整个热传导模型，我们分为两个部分，即防护服不同材料间的传导模型和IV层到皮肤之间的空气的传导模型。最后综合上述模型和皮肤温度与时间的拟合关系，利用MATLAB软件绘制出整个传热模型过程的温度三维分布图。

针对问题2，此时环境温度变为了，我们在模型一的热传导模型基础上，考虑确保工作60分钟时，假人皮肤外侧温度不超过47ºC，且超过44ºC的时间不超过5分钟。在以上约束的条件下建立约束模型，利用LINGO软件求解得出II层的最优厚度为。

针对问题3，此时环境温度变为了，并且此时我们需要求解的是II层和IV层两个未知量的最优厚度，我们在模型二的基础上，结合规划约束模型，利用LINGO软件求解得出II层的最优厚度为，IV层的最优厚度为。

**三、模型假设**

（1）假设题目中给出的数据都是正确的；

（2）假设忽略环境温度与I层之间的传导；

（3）系统热传递仅考虑热传导和热辐射等；

**四、与符号说明**

|  |  |
| --- | --- |
| 符号 | 定义 |
|  | 材料的密度 |
|  | 密度为的材料比热容 |
|  | 温度 |
|  | 时间 |
|  | 水平坐标位置 |
|  | 热导率 |
|  | 消光系数 |
|  | 材料透射率 |
|  | 材料表面辐射能量 |
|  | 第i层材料厚度 |
|  | 斯蒂芬波尔兹曼常量 |
|  | 热辐射系数 |

**五、模型建立与求解**

**5.1模型一的建立与求解**

我们所考虑环境温度通过热防护服到假人皮肤的整个热传导模型中，首先要对90分钟测试的数据进行处理，利用MATLAB软件仿真得出皮肤温度与时间拟合关系，然后建立热防护服不同材料的热传导和防护服IV层到假人皮肤的热传导模型。

**5.1.1 数据处理**（对数据进行拟合，生成表达式）

我们首先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，我们对附件中的90分钟实验数据进行观察，可以得到初始时刻人体温度为，时间在1745s开始人体温度变为并保持不变。我们对0s和1745s这个过程的数据利用MATLAB软件进行三阶拟合，如图5.1.1所示。

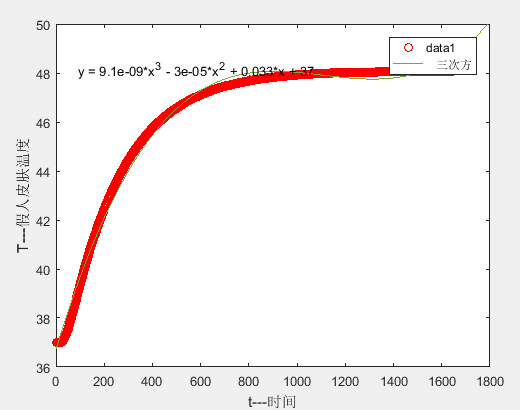


图5.1.1 皮肤温度与时间拟合关系图

由图5.1.1可得，深红色为原始数据曲线，绿色细线为拟合的三阶曲线图，我们可以看到拟合曲线很好的进行了拟合，拟合方程为：

**5.1.2热传导模型**

在本文中，我们考虑的热传导的模型分为热防护服不同材料的热传导和防护服IV层到假人皮肤的热传导模型两种。（想到用两种模型区分材料和假人皮肤，真棒）

首先我们考虑热防护服不同材料的热传导模型。由于各材料之间的距离不一样，在之间，因此我们需要考虑的传热方式有热传导和热辐射两种。

首先考虑热传导方式情况，一维平面热传导速率方程为：

多层复合材料的温度分布局部的微分等式建立在 Gibson 和 Torvi 的理论基础之上。

用以表征穿透材料后热辐射减少量的消光系数算法，与材料透射率和材料厚度有关。

因此不同材料表面的热辐射能量为：

然后我们考虑材料的起始条件和边界条件，其中起始条件为：

边界条件为：

根据L的不同值来确定不同材料的左右边界即可。

而在防护服IV层到假人皮肤的热传导模型中，由于IV层到假人皮肤之间的空气距离为，即空气层厚度小于，由于空气层间隙非常小，从而不考虑对流情况，这是空气层的热传递以传导为主，根据傅里叶热流定律，一维平面热传导速率方程为：

我们综合考虑以上模型和数据拟合方程进行，利用MATLAB仿真得到最终的温度区域分布图。

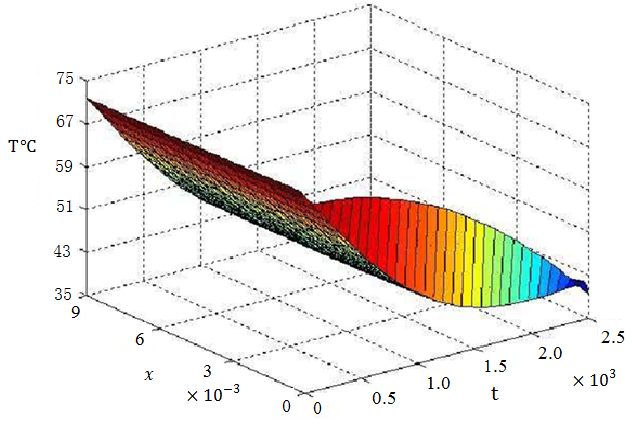


图5.1.2 温度区域分布图（距离、时间、温度）

根据图5.1.2我们可以得到温度区域的三维分布图，对应不同的时间和材料距离，对应的温度也不同，其中温度由深红色到蓝色，颜色越深，温度越高。

**5.2模型二的建立与求解**

问题二中给出的条件为环境温度为、IV层的厚度为5.5 mm时，确定II层的最优厚度，确保工作60分钟时，假人皮肤外侧温度不超过，且超过的时间不超过5分钟。

我们在模型一的热传导模型基础上，将环境温度变换为。此问题中我们运用模型一中的两个热传导模型。（沿用问题一模型）

根据题目可以确定第二层的厚度为，其中：

我们可以得第II层的初始条件为：

第II层左边界条件为：

第II层由边界条件为：

根据题意我们可以得到：

联立以上方程求解得到：

综合可得第II层的最优厚度为。

**5.3模型三的建立与求解**

题目中要求在环境温度为，确定II层和IV层的最优厚度，确保工作30分钟时，假人皮肤外侧温度不超过，且超过的时间不超过5分钟。

我们在模型二的基础上，考虑环境温度变为。并且未知层的厚度变为II层和IV层，此问题中我们运用模型一中的热传递模型。

根据题目可以确定第二层和第三层的厚度，其中：

我们可以得第II层的初始条件及边界条件，可得第II层的具体模型:

我们参照第II层的模型，依次可以得第IV层的初始条件和边界条件，结合得到第IV层的具体模型:

接下来我们建立约束s.t如下所示。

我们利用LINGO软件对以上约束进行求解，得到在环境温度为时，要确保工作30分钟时，假人皮肤外侧温度不超过，且超过的时间不超过5分钟。， II层和IV层的最优厚度分别为：

**六、模型的评价和推广**

6.1．模型的评价

模型的优点：

1.我们所建立的模型能与实际紧密联系，结合实际情况对所提出的问题进行求解，使模型更贴近实际，通用性、推广性较强。

2.我们利用MATLAB软件绘制的温度三维模型的可视化界面形象逼真，操作简便，便于推广；

3.我们通过对实验数据的分析不仅使问题得到了一定程度上的解决，而且还能迅速掌握了实验数据的特点为建立更合理的模型提供了参考经验。

模型的缺点：

模型复杂因素较多，不能对其进行全面的考虑，比如传热只考虑了热辐射和热传导方式，造成与实际有一定的不相符之处。

6.2．模型的推广

通过所建立的模型以及求解结果，我们可以得到一定室温下，热防护服各部分温度随时间的分布模型，也可以使用于其他不同的室温环境，将模型应用与实际的生活具有非常重要的现实意义。

**参考文献**

[1] 宋来忠,王志明.数学建模与实验.北京：科学出版社，2005.

[2] 王正东.数学软件与数学实验.北京：科学出版社，2010.

[3] 赵静，但琦，数学建模与数学实验.北京：高等教育出版社，2008.

[4] 楼顺天，姚若玉，沈俊霞.MATLAB7.x程序设计语言.西安：西安电子科技大学出版社，2008.

[5 王丽霞 概率论与数理统计——理论、历史及应用 大连理工大学出版社，2010.10

[6] 费浦生 羿旭明 数学建模及其基础知识详解 武汉大学出版社，2006.5

[7] http://www.8264.com/weather/hunan/zhangjiajie/tianqi-201606.html；

[8] 胡守信,李柏年.基于Matlab的数学实验[M],北京:科学出版社,2004年第1版；

[9] 杨桂元，黄己立，数学建模[M]，合肥：中国科学技术大学出版社，2008年8月第1版；

[10] 王丽霞 概率论与数理统计——理论、历史及应用 大连理工大学出版社，2010.10

[11] 费浦生 羿旭明 数学建模及其基础知识详解 武汉大学出版社，2006.5

[12].姜启源，谢金星，叶俊.数学模型（第三版）.北京：高等教育出版社，2003.8

[13].《运筹学》编写组.运筹学（修订版）.北京：清华大学出版社，1990

**附录**

%用粒子群算法优化RBF网络权值

clear all

close all

G =50; %迭代次数

n = 2; %粒子维数

m = 1; %种群规模

c1 = 2; %算法参数

c2 = 2; %算法参数

wmax=0.90; %惯性权重的最大值

wmin=0.30; %惯性权重的最小值

%惯性权重下降

for i=1:G

W(i)=wmax-((wmax-wmin)/G)\*i;

end

%取粒子的取值范围

for i = 1:n

MinX(i) = 0.001\*ones(1);

MaxX(i) = 9999\*ones(1);

end

%初始化种群pop

pop = rand(m,n);

for i = 1:m

for j = 1:1:n

if pop(i,j) < MinX(j)

pop(i,j) = MinX(j);

end

if pop(i,j) > MaxX(j)

pop(i,j) = MaxX(j);

end

end

end

%初始化粒子速度

V = 0.1\*rands(m,n);

BsJ = 0;

%根据初始化的种群计算个体好坏,找出群体最优和个体最优

indivi = pop; %抽出个体

[BsJ] = fitness(indivi,BsJ); %求出每个粒子对应的误差

Error = BsJ;

[OderEr,IndexEr] = sort(Error); %对误差进行排序

Error;

Errorleast = OderEr(1); %求出最小误差

if Errorleast == Error

gbest = pop(1,:); %找出最小误差对应的个体极值gbest

end

ibest = pop; %把初始化的种群作为群体极值

%循环开始

for kg = 1:G

kg

for s = 1:m;

%个体有4%的变异概率

for j = 1:n

for i = 1:m

if rand(1)<0.04

pop(i,j) = rands(1);

end

end

end

%r1,r2为粒子群算法参数

r1 = rand(1);

r2 = rand(1);

% 速度更新

V(s,:) = W(kg)\*V(s,:) + c1\*(ibest(s,:)-pop(s,:)) + c2\*(gbest-pop(s,:));

%个体更新

pop(s,:) = pop(s,:) + 0.3\*V(s,:);

%求更新后的每个个体误差，可看成适应度值

[BsJ] = fitness(pop(s,:),BsJ);

error(s) = BsJ;

%根据适应度值对个体最优和群体最优进行更新

if error(s)<Error(s)

ibest(s,:) = pop(s,:);

Error(s) = error(s);

end

if error(s)<Errorleast

gbest = pop(s,:);

Errorleast = error(s);

end

end

Best(kg) = Errorleast;

end

%plot(Best);

%title('粒群算法优化RBF网络权值中最小误差进化过程化次数');

%ylabel('最小误差');

')a

%xlabel('进

%save pfile1 gbest;

P=-1:0.1:1;

T = [-.9602 -.5770 -.0729 .3771 .6405 .6600 .4609 ...

.1336 -.2013 -.4344 -.5000 -.3930 -.1647 .0988 ...

.3072 .3960 .3449 .1816 -.0312 -.2189 -.3201];

chois=rand(size(T));

T=T+chois;

PR=minmax(P);

%创建网络

net=newff(PR,[10 1],{'tansig','purelin'},'traingd');

%设置训练参数

net.trainParam.epochs=3000;

net.trainParam.goal=0.001;

%训练网络

net=train(net,P,T);

%仿真

y=sim(net,P);

%作出拟合图形

figure

plot(P,T,'o', P, y,'r\*:');