

基于热传导模型的防热服设计

摘 要

在高温环境下工作时，需要穿着专用防护服，以避免高温对人体的伤害。本题意在考察材料厚度不同的情况下，防热服对热量的阻隔能力，进而对材料的厚度进行调整，以使防热服能达到预期的效果，高温作业可顺利开展。

针对问题一 建立热传导模型，认为热量从服装表面传至人体的过程可简化为一维情况。将皮肤认为是第五层材料，其厚度和热扩散率待定。确定模型的初始条件和边界条件，求解微分方程。考察所求数值解与给定实验数据的误差，用内点法优化皮肤参数，得到皮肤厚度21.92mm，热扩散率 $1.243\text{m}^2/\text{s}$ ，并求解出温度的时空分布图。

针对问题二 沿用问题一的模型，确定最小化II层厚度为目标函数，在问题二所给的体表温度上限等相关条件约束下进行优化。确定温度随时间变化的单调性，化简约束条件，并利用二分查找快速寻找最优解，得到II层最优厚度为8.040mm。

针对问题三 该问题有两个待优化变量：II层和IV层厚度。确定防热服总质量最小为优化目标，建立人体模型以量化总质量的评估，即得到总质量与各层厚度之间的函数关系式。由于在IV层厚度确定的情况下，优化方法与问题二相同，因此可化归为对IV层空气层厚度的优化。得到结果II层和IV层的最优厚度分别为15.42mm和0.6mm，防热服总质量28.13kg。

关键词： 热传导 约束优化 二分查找

1 问题重述