

# 室内沙疗恒温控制器碳纤维加热研究

赛亚勒·阿布都力江 阿拉法特·买尔旦 杨永春 田生龙

(新疆交通职业技术学院 新疆 乌鲁木齐 831401)

**摘要:** 通过采用铜线、铝线、碳纤维对沙子进行加热,用 Ansys 软件建立电加热模型,对比不同材料对沙体温度热传递过程,获得热传递和热流密度较好的加热材料,并对其与沙体热交换进行分析,为室内沙疗加热系统提供依据。结果表明,碳纤维导线加热温度分布与太阳照射更接近,使沙体层垂直温度分布能够更均匀化,能最好地反映出加热系统的热传递更佳,沙疗效果更佳。

**关键词:** 加热系统; 沙疗温度; 碳纤维复合材料; Ansys 软件

## 0 引言

随着人们的生活水平的不断提高,沙疗也逐渐吸引了人们的关注。我国新疆吐鲁番地区是天然的沙疗场,但天然的沙场受到季节、地域、环境、时间等的影响,埋沙只能在 7-9 月进行,受外界条件影响非常大<sup>[1]</sup>。室内沙疗室相对于天然沙疗场不会受天气、环境、地理位置等因素的影响,因此室内沙疗室的建立和热物理模型的优化就显得尤为重要。但室内沙疗传热过程是一个复杂的过程,其包含热辐射、热对流、热传递等<sup>[2]</sup>。已有的研究表明,室内沙疗的加热温度基本达到了人体最需要的也最合理沙疗的沙体层温度为 42℃<sup>[3]</sup>。

本文设计了 42℃ 的恒温加热控制系统,加热丝分别采用铜线、铝线、碳纤维三种导线,用 Ansys 软件对加热情况进行求解,对比不同材料对沙体温度热传递过程,获得热传递和热流密度较好的加热材料,并对其与沙体热交换进行分析,实现了恒温加热控制系统的搭建,为室内沙疗加热系统提供依据。

## 1 研究沙疗温度模型

### 1.1 加热材料在技术上的区别

目前对温度控制器加热材料已有的研究表明,加热材料由热电阻丝组成,在发热过程中,电阻丝由于过热或机械损伤可能引起某一处损坏,则影响整个加热系统无法正常工作,另外,碳纤维布置的间距直接影响复合板表面的温度,因此本文推荐的碳纤维加热元采用了网联技术,整个加热系统由很多碳纤维网并联而成,如果网络某一处碳纤维发生损坏,只影响此网络的正常发热,不影响其他网络正常工作。铜材料具有较强的硬度,会出现不同程度和形式的损伤。在此破坏作用的情况下长期使用时,使加热丝逐渐变薄,导致发热老化的失效问题,除此之外,铜材料具有容易氧化特点,使得“之”字形拐弯处接触层很容易发生开裂现象,导致温度分布不均匀情况。铝合金在高温下工作时,持续的蠕变会导致应力松弛、弹性衰退等现象的产生,从而材料的结构稳定性有所下降,最终导致材料的失效<sup>[4]</sup>。碳纤维复合材料具有轻质高强、耐疲劳、耐腐蚀、结构尺寸稳定性好以及大面积整体成型等性能优点。

本文设计了碳纤维复合材料恒温加热控制系统,并进行了加热系统的硬件设计,实现了恒温加热控制系统的搭建。如图 1 所示。加热系统温度调整为沙疗人体最需要的也最合理沙疗的沙体层温度为 42℃,本系统实现恒温加热系统温度控制。

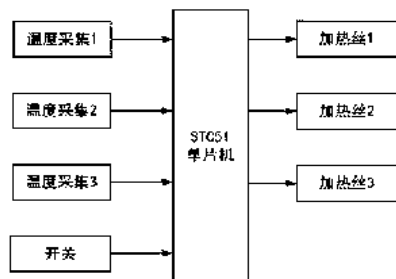


图 1 恒温加热系统框图

### 1.1 模型建立

本文根据在以前已有的研究结果基础上,优化吐鲁番沙疗场的沙疗平台,设计出恒温加热控制系统,加热丝分别赋予铜、铝、碳

纤维来分析热流密度和温度分布情况。物理模型如图 2 所示。以“之”字形排列加热丝,周围以方形沙体覆盖。通 220V 生活用电,依据材料电阻计算电流值;沙体尺寸为 2.4m×2.1m×2.5m。利用 Ansys workbench 软件建立了微观尺度下碳纤维复合材料预制体均匀受热有限元模型。材料热力学系数以东丽公司 T300 为参考。沙体划分六面体网格,加热丝进行精细化处理,如图 3 所示。

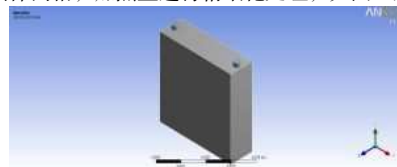


图 2 物理模型图

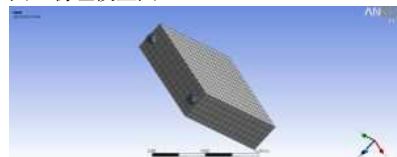


图 3 六面体网格

根据计算流体力学和数值传热学的原理,利用计算机仿真技术,建立了微观尺度下碳纤维复合材料预制体均匀受热有限元模型,目前已有的研究发现加热高度影响沙体表面的温度,加热时间和加热高度影响沙体层垂直温度和耦合层的宽度,从而直接影响温度分布均匀性,影响沙体加热效果。目前室内沙疗系统采用的是双面加热,双面加热时,沙体层温度分布均匀性更好,加热效果更佳。以上研究对于室内沙疗加热系统采用的是辐射加热灯,沙疗过程中要考虑很多方面的约束条件,沙疗室内的保温情况和绝热情况不相符,沙体层垂直温度均匀性不好,沙子在加热过程中会有很多边界条件,室外温度也会影响室内温度等情况也要考虑,加热灯还要考虑反光情况,这也影响沙体层温度均匀性问题,还有灯源的功率大小对温度场的影响也不能忽略的。随着灯源的高度逐步提高,沙层的温度逐步降低,这时还可以发现温度的分布与实际测量相接近,总之这些条件加起来会对沙疗效果的影响有较大的影响。在不同的边界条件下,不同的加热高度和加热时间情况下,对沙疗场温度和速度场进行数值模拟和数据对比,结果得到了在加热时间、加热效率、加热速度和其他经济方面沙疗床确实有着最佳的优势、特点,同样的当前为最好的、最先进的一个埋沙治疗结构。这说明室内沙疗系统进行研究有更好的发展趋势,对人民生活需求提供更方便的治疗条件,室内沙疗温度能代替吐鲁番实地沙疗温度,这对沙疗温度控制系统提供更广阔的研究领域。

### 1.2 设置初始条件

实验初始条件设定为:室温 20℃,加热丝输入电压 220V,电流依据材料添加。为模拟薄层沙体温度变化,沙体导热系数为 0.027W/m.K。

## 2 数值模拟

### 2.1 实验设备

根据计算流体力学和数值传热学的原理,利用计算机仿真技术,以吐鲁番沙疗场已有的最佳埋沙深度 15cm 和最合理沙疗的沙体层温度为 42℃为参考值,本文制作 2.4m×2.1m×2.5m

尺寸的方盒物理模型, 盒内使用吐鲁番天然沙疗场沙子, 内部以“之”字形排列加热丝, 加热丝用恒温控制器保持温度, 用温度应变片测量沙体不同厚度层的温度。三种加热丝电加热系统中热工参数的动态特性及室内温度场速度场分布、加热效果、加热效率、热流密度、温度分布作对比分析。

## 2.2 实验方法

设定沙体底面为第一个点, 分别以 15cm 为间隔, 将温度应变片埋入沙体中, 测量温度变化规律; 每隔 5 分钟进行一次温度记录。采用铜线、铝线、碳纤维三种加热丝, 对沙层热流密度和温度分布进行对比, 获得与太阳照射更接近的室内沙疗恒温加热系统。

## 3 实验结果对比

### 3.1 不同加热材料热流密度、温度分布对比

对比分析用铜线、铝线、碳纤维的情况下, 沙层热流密度和温度分布的实验数据如图 3, 由对比图 4 可知, 沙疗最佳深度 15cm 处, 对三种导线加热情况进行数值仿真。

①温度最高点的加热平均温升速率排序是碳纤维 > 铝线 > 铜线。②温度分布进行分析, a 上图随着温度的升高, 铜导线的导电率逐渐下降, 且在该温度范围内导电率与温度具有明显的线性相关性, 由图可见没有明显的温度垂直梯度现象。b 上图铝线温度分布有垂直梯度分布现象, 热流密度上部已不明显; c 上图碳纤维温度垂直梯度分布明显, 呈上高下低的分布现象。由此可见, 碳纤维沙表面温度分布比较均匀, 铝线次之, 铜线最不均匀。③热流密度进行分析, a 下图铜线热气流流动不太明显, 热流密度不均匀。b 下图热气流向上流动, 热流密度不太均匀。c 下图热流密度更均匀。通过热流密度和温度分布图可知用碳纤维加热材料时温度交换快, 热流密度均匀, 对沙体的加热效果较好, 沙体垂直温度分布较为均匀, 温差较小。

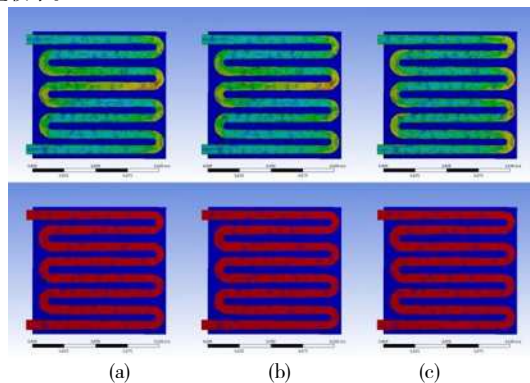


图 4 不同加热材料热流密度及温度分布对比

### 3.2 碳纤维加热与太阳照射对比

根据已有的最适宜沙疗人体最需要的也最合理沙疗的沙体层温度为 42℃, 最佳的埋沙深度 15cm, 为了验证上述对比结果的准确性, 对碳纤维复合材料预制体在均匀温度场内的温度分布特点进行实验验证。已有研究表明, 影响碳纤维导线发热均匀性的主要因素有发热丝的布置间距。本文建立的是微观尺度下碳纤维复合材料预制体均匀受热有限元模型, 发热丝通电发热之后, 通过热辐射和热传导的方式向相邻材料及沙体层传递和散发热量, 由于传热和发热速率的不同, 发热丝的布置间距越小, 碳纤维铺设密度越大, 复合板表面温度越均匀。可是碳纤维发热丝的布置间距过小, 也将导致热量过剩, 造成能源浪费<sup>[9]</sup>。所以本文建立的六面体模型能够有效地进行热传递, 提高沙体温度均匀性。碳纤维导线与太阳照射的沙层热传递进行对比, 如图 5 所示。沙体垂直高度 15cm 进行数据采集, a 图为热传递表面分布比较图, b 图为热传递截面比较图, c 图为热流截面比较图。由 a, b 和 c 图可见, 随着加热温度的升高, 碳纤维热传递速率快, 15cm 深的沙层温度变化直接影响沙疗效果, 此深度的沙层平均热流密度的变化均匀更接近太阳, 系统加热的效果越好, 沙层垂直温度分布越均匀, 沙疗的效果越好。碳纤维和太阳照射热传递截面相比较模拟结果能够很好地反映室内沙疗系统的热环境, 表明该模型是合理可靠的。室内恒温沙疗系统的温度可以代替吐鲁番实地沙疗场的温度。

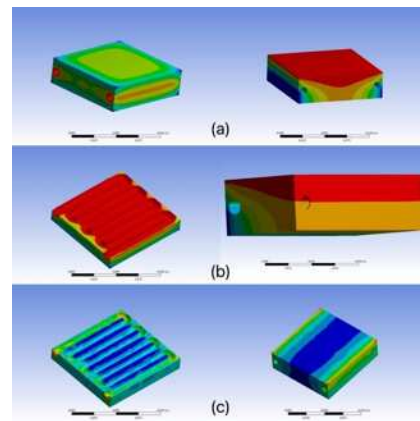


图 5 碳纤维与太阳照射对比

## 4 结论

本论文通过 Ansys 软件建立室内沙疗室模型, 研究了沙疗室恒温加热系统的加热丝采用铜线、铝线、碳纤维三种导线, 对目前设计的大规模沙疗室沙体层在人体最需要的也最合理沙疗的沙体层温度为 42℃, 最佳深度 15cm 情况下, 对沙体层温度场加热效果和加热效率做对比进行分析。通过这一系列对比分析, 得知了目前的沙疗室规格尺寸、沙体层厚度等情况还是比较合理的。后面对本文创建的物理模型温度场热流密度分析和温度分布分析中得知了这样结论:

通过仿真结果可知, 沙体达到沙疗温度所需时长时, 对比了三种导线的加热效果, 找到加热效率的最优解。并且对比了太阳照射下的加热效率和沙子的垂直温度分布。具体分析如下:

- 1) 模拟仿真结果能够反映出沙疗室内的热环境, 说明“之”字形模型是合理可靠的。
- 2) 通过对比铜线、铝线、碳纤维三种导线的热流密度和温度分布图, 15cm 深的沙层达到最佳沙疗温度 42℃时, 碳纤维加热效率最快, 热流密度和温度分布更均匀, 加热效率更佳, 沙子的垂直温度更均匀。
- 3) 通过对比碳纤维和太阳照射情况下的沙层热流密度和温度分布图, 碳纤维导线的热流密度和温度分布与太阳照射更接近, 使沙体层垂直温度分布能够更均匀化, 能最好地反映出加热系统的热传递更佳, 沙疗体验效果更佳。碳纤维和阳光热传递界面相比较模拟结果能很好地反映沙疗室内的热环境, 表明该模型是合理可靠的。这说明室内沙疗温度能代替吐鲁番实地沙疗温度。无论是加热系统、加热效果方面, 又无论是节约时间、节约能耗、节约金钱等几方面确实有着很多的优势和特性。在现今社会中室内沙疗已得到了很大的市场空间、人们生活中的普遍性趋向。

## 参考文献

- [1] 佐热姆·拜科日, 居来提·买提肉孜, 阿依先古力·热合曼, 等. 室内沙疗试验系统的三维传热规律研究 [J]. 科技创新导报, 2019, 16(15): 104-107. <https://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?filename=ZXDB201915057&dbname=CJFD&dbcode=CJFQ>
- [2] 阿依先古力·热合曼, 居来提·买提肉孜, 佐热姆·拜科日, 等. 自然对流-多向加热沙疗系统的传热特性研究 [J]. 科技创新与应用, 2019(21): 1-4, 7.
- [3] 于洋, 居来提·买提肉孜, 李乾坤. 内含恒温热源圆形管道内传热数值模拟 [J]. 真空科学与技术学报, 2020, 40(5): 499-504.
- [4] 孙茗, 庄景巍, 邓海亮, 等. 高温抗蠕变铝合金及铝基复合材料研究进展 [J]. 材料导报, 2021, 35(11): 11138-11145.
- [5] 张晓梅, 石建军, 贾彬, 等. 基于敏感度分析法的碳纤维加热复合板发热均匀性研究 [J]. 西南科技大学学报, 2021, 36(4): 54-59.

课题来源: 本文系新疆交通职业技术学院, 院级课题《沙疗模型加热系统温度控制研究》(J-20-01)。

作者简介: 赛亚勒·阿布都力江 (1989-), 女, 新疆乌鲁木齐, 硕士, 助教, 研究方向: 电力系统发电与控制。