

# The Numerical Simulation of the Temperature Field When Pure Water Is Heated Using One-Dimensional Steady Heat Source

Wenjuan Han, Rui Qiang\*, Xu Chen

College of Electrical Engineering, Liupanshui Normal College, Liupanshui Guizhou  
Email: hanwenjuanying@163.com, \*528972962@qq.com

Received: Nov. 18<sup>th</sup>, 2018; accepted: Nov. 30<sup>th</sup>, 2018; published: Dec. 7<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

In this paper, the temperature field and heat flux are simulated and researched when the pure water of different qualities and shapes is heated by using one-dimensional steady heat source. The studying methods are as follows. The three-dimensional models of pure water are made using Siemens UG software when their qualities are different and they are cylindrical and prismatic. The mesh is divided with Ansys Icem module. The corresponding temperature field and the heat flux are simulated using Ansys Heat Transfer module. The studying conclusions are as follows. 1) When the initial and final temperature are defined, the changing stages of the temperature are same from the heated region to the whole pure water of the pure water of all kinds of shapes when they are heated using one dimensional steady heat source. The situation of the temperature field of the different prisms pure water having same quality is the same basically, and their temperature stripes present jumping change. The speed is more slowly that the temperature of pure water of prism shapes reaches the same level from the heated region to the whole pure water. The temperature field of pure water of cylinder shapes is fuzzy, the temperature stripe changes gradually. The speed is faster that the temperature of pure water of cylindrical shape reached the same level from the heated region to the whole pure water. 2) When the total heat flux is defined, the general trend of the axial heat flux is same. There is the effect of the dissipation of heat at the edges, and the effect is becoming stronger and stronger when there are more edges. The effect of pure water of cylinder shapes is the most non-obvious. Through the simulation and analysis work, the micro-processes transferring heat can be understood more deeply. It is helpful to the teaching of thermology. The reference information of how to choose the better shape heating vessel is provided.

## Keywords

One-Dimensional Steady Heat Source, Temperature Field, Pure Water, Numerical Simulation

---

\*通讯作者。

# 一维稳定热源对纯水加热温度场的模拟研究

韩文娟, 强 睿\*, 陈 旭

六盘水师范学院电气工程学院, 贵州 六盘水

Email: hanwenjuanying@163.com, \*528972962@qq.com

收稿日期: 2018年11月18日; 录用日期: 2018年11月30日; 发布日期: 2018年12月7日

## 摘 要

本文对稳定热源在一维热传导条件下加热不同质量、不同形状纯水的温度场、热通量进行数值模拟研究。研究方法: 采用三维建模软件Siemens UG建立不同质量、不同几何形状圆柱和棱柱体的三维模型, 利用Ansys自带的Icem划分网格, 运用Ansys Heat Transfer模块对相应温度场和热通量进行数值模拟。研究结论: 1) 初、终温度设定时加热同质量的各形状纯水至整体温度达到一致所经温度变化阶段相同。同质量棱柱纯水的温度场分布大致一样, 其温度带呈现跃变, 此类形状纯水从加热区到整体温度达到一致速度较慢, 而圆柱形纯水温度场变化较模糊, 温度带呈现渐变, 此类形状纯水从加热区到整体温度达到一致速度较快。2) 总热通量确定时, 轴向热通量总体趋势相同, 但棱柱纯水有棱边散热效应, 棱边越多此效应越强, 圆柱纯水最弱; 通过模拟分析, 可深入理解传热微过程, 对热学教学极有帮助, 同时为加热器形状的择优选择提供参考信息。

## 关键词

一维稳定热源, 温度场, 纯水, 数值模拟

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

物质系统内各点温度的集合称为温度场, 反映温度在时间和空间上的分布, 是时间和空间的函数[1]。关于温度场的研究对我们深入了解与解决传热相关问题至关重要且有较强的理论与实际意义。由于数值模拟对实际的物理、化学、工程等问题能进行预见性、合理性、可能性的模拟处理, 能为解决实际问题提供启示性信息[2], 再加之使用传统实际实验方法耗时费力且材料成本较高等原因, 越来越多地温度场问题使用数值模拟的方法进行解决。Ansys 软件具有强大的温度场模拟仿真功能, 是温度场计算的实用工具, 如运用 Ansys 软件进行实际加热过程的模拟得到可靠结果[3] [4]; 运用 Ansys 软件可对混凝土浇注过程的温度场和温度应力进行仿真计算[5]等等。本课题启发于《热学》中的热力学第零定律[6], 《热学》中的热平衡是指在没有外界条件影响下热力学系统的温度处处相等, 有特定的温度场反映系统内部分子无规则热运动情况。系统在传热与加热过程中, 非平衡态下不同区域的温度场也反映系统内部分子无规则热运动剧烈程度不同的机制, 系统在平衡态和非平衡态时有不同特点的温度场, 分析在传热与加热过程中不同温度物体(或物体的不同温度部位)从非平衡态到达平衡态的微观过程很有意义。本文简化模拟环

境, 未采用流固耦合模拟, 主要是结合 Siemens UG 与 Ansys 软件完成对稳定热源[7]在一维热传导下加热不同质量的圆柱、棱柱形纯水的温度场进行数值模拟, 分析温度场的分布特征和变化规律。由于《热学》教学中传热过程较为抽象, 难于形象讲解, 而本文对温度场的模拟结果使抽象的传热过程具体、直观明了的呈现, 可使学生深入理解传热微过程, 对热学教学极有帮助, 同时通过模拟分析, 还可为加热器形状的择优选择提供参考信息。

## 2. 数值模拟内容及方法

通过稳定热源在一维热传导下加热质量为 1 kg、2 kg、3 kg、4 kg、5 kg 几何形状为圆柱体、长方体、五棱柱形纯水, 对其温度场和热通量进行数值模拟。

### 2.1. 纯水三维几何模型建立

采用 Siemens UG 软件建立三维模型, 建模时保持底面积不变, 利用控制变量法研究对纯水加热的温度场和热通量随几何体形状和质量变化的特点。圆柱体、长方体、五棱柱模型尺寸设定见表 1。

**Table 1.** The relevant size settings of pure water of cylinder, cuboid, and pentagonal prism  
**表 1.** 圆柱形、长方体、五棱柱纯水的相关尺寸设定

圆柱纯水	质量(kg)	1	2	3	4	5
	高(m)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
	底面半径(m)	0.05642	0.05642	0.05642	0.05642	0.05642
长方体纯水	质量(kg)	1	2	3	4	5
	高(m)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
	底面边长(m)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
五棱柱纯水	质量(kg)	1	2	3	4	5
	高(m)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
	底面边长(m)	0.07625	0.07625	0.07625	0.07625	0.07625

### 2.2. 求解方法及边界条件设定

本文利用 Ansys Icem 对几何体进行网格划分, 使用拓扑结构逼近几何模型, 再在拓扑结构上生成六面体网格, 并对局部网格细化, 优化计算结果。本文纯水温度场模拟采用 Ansys 稳态热分析进行, 系统初始温度为 20°C, 密度 9974 kg/m<sup>3</sup>, 比热容 4200 J/(kg·k), 导热系数 0.604 w/(m·k), 热量垂直于底面流入, 热量传导为一维, 大小为 20 w/m<sup>2</sup>。

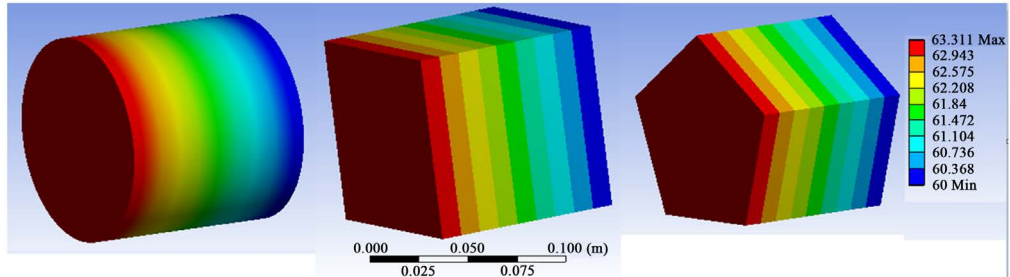
## 3. 计算结果与分析

前提分析: 一、选择质量为 1 kg、2 kg、3 kg、4 kg、5 kg 的纯水原因便于对不同质量的纯水模拟结果进行比较; 二、选择圆柱、长方体、五棱柱纯水原因: 1) 当纯水几何体侧壁设为绝热时, 选择圆柱和棱柱形纯水进行加热, 仅考虑沿轴向的一维传热情形, 使模拟环境简化。2) 加热圆柱、长方体、五棱柱纯水便于对圆柱和棱柱纯水的加热温度场、轴向热通量的特点进行比较和不同棱柱纯水的棱边散热效应的比较。限于篇幅, 本文只列出质量 1 kg、2 kg 时圆柱体、长方体、五棱柱纯水温度场模拟图, 其余质量和形状的温度场、轴向热通量模拟图及数据略。

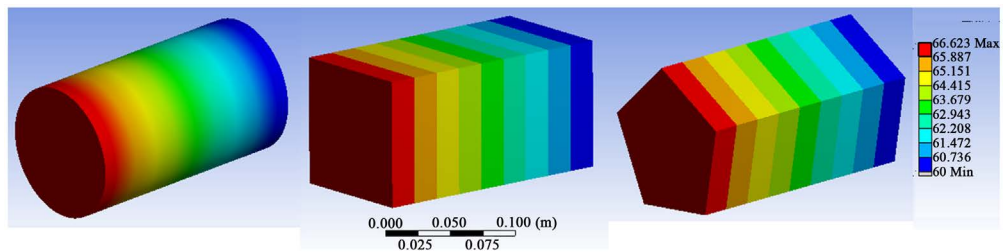
### 3.1. 温度场分析

#### 3.1.1. 对一维稳态热源加热不同质量和几何形状纯水的温度场模拟图

如图 1 和图 2 所示。



**Figure 1.** The chart of the temperature field of 1 kg pure water of cylinder, cuboid, and pentagonal prism  
**图 1.** 1 kg 圆柱、长方体、五棱柱纯水温度场图



**Figure 2.** The chart of the temperature field of 2 kg pure water of cylinder, cuboid, and pentagonal prism  
**图 2.** 2 kg 圆柱、长方体、五棱柱纯水温度场图

#### 3.1.2. 温度场模拟图数据

对稳定热源在一维热传导条件下加热质量为 1 kg、2 kg、3 kg、4 kg、5 kg 的圆柱、长方体、五棱柱形纯水的温度场模拟图进行数据整理，见表 2~4。

**Table 2.** The simulated data of the temperature field of 1 kg pure water of cylinder, cuboid, and pentagonal prism  
**表 2.** 1 kg 圆柱形、长方体、五棱柱纯水的温度场模拟数据

纯水的几何形状	温度 t (单位 °C)	相邻色带温差 dT (单位 K)	传热方向长度 dz (单位 m)	温度梯度 dT/dz (单位 K/m)	底面积 S (单位 m <sup>2</sup> )	相邻接触单位面积单位时间热通量 Q/dSdt (单位 W/m <sup>2</sup> )	相邻接触面时间 dt (单位 s)
圆柱	初温	0.368	0.01111	33.1233	0.01	20	1
长方体	60, 终温	0.368	0.01111	33.1233	0.01	20	1
五棱柱	63.31	0.368	0.01111	33.1233	0.01	20	1

**Table 3.** The simulated data of the temperature field of 2 kg pure water of cylinder, cuboid, and pentagonal prism  
**表 3.** 2 kg 圆柱形、长方体、五棱柱纯水的温度场模拟数据

纯水的几何形状	温度 t (单位 °C)	相邻色带温度差值 dT (单位 K)	传热方向长度 dz (单位 m)	温度梯度 dT/dz (单位 K/m)	底面积 S (单位 m <sup>2</sup> )	相邻接触单位面积单位时间热通量 Q/dSdt (单位 W/m <sup>2</sup> )	相邻接触面时间 dt (单位 s)
圆柱	初温	0.736	0.02222	33.1233	0.01	20	1
长方体	60, 终温	0.736	0.02222	33.1233	0.01	20	1
五棱柱	66.62	0.736	0.02222	33.1233	0.01	20	1

**Table 4.** The relevant processing data of the temperature field of different qualities pure water of cylinder, cuboid, and pentagonal prism

**表 4.** 不同质量圆柱形、长方体、五棱柱纯水的温度场相关处理数据

纯水的几何形状	质量(kg)	1	2	3	4	5
圆柱	相邻色带温度差值 dT/(K)	0.736	0.736	0.736	0.736	0.736
	温度梯度(dT/dz)/(K/m)	33.1233	33.1233	33.1233	33.1233	33.1233
长方体	质量(kg)	1	2	3	4	5
	相邻色带温度差值 dT/(K)	0.736	0.736	0.736	0.736	0.736
	温度梯度(dT/dz)/(K/m)	33.1233	33.1233	33.1233	33.1233	33.1233
五棱柱	质量(kg)	1	2	3	4	5
	相邻色带温度差值 dT/(K)	0.736	0.736	0.736	0.736	0.736
	温度梯度(dT/dz)/(K/m)	33.1233	33.1233	33.1233	33.1233	33.1233

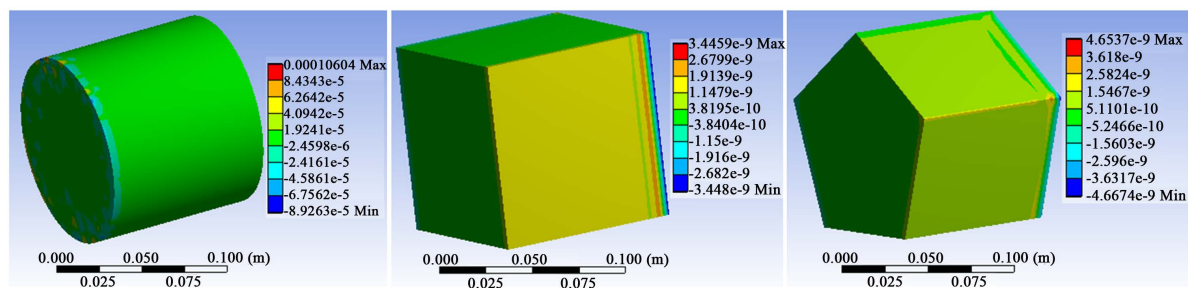
### 3.1.3. 温度场分析

图 1 和图 2 中，一种色带表征一个温度值。同质量的圆柱、长方体、五棱柱形纯水的温度场，相邻色带温度的差值为固定值即 1 kg 时为 0.368 K，2 kg 时为 0.736 K (其余质量的情况本文未列出)，传热方向长度见表 2、表 3 即 1 kg 时为 0.01111 m，2 kg 时为 0.02222 m，即得出温度梯度 33.1233/(K/m)相同，说明在纯水初、终温度设定的加热过程中，不同质量、不同形状的纯水体从加热区到整体温度达到一致的温度变化阶段相同，这是因为不同质量、不同形状的纯水体从加热区到整体温度达到一致时在机制是一样的；从图 1 和图 2 还看出，圆柱形纯水的温度分布场图为交叠浑浊的状态，温度梯度条带呈现渐变情形，而长方体、五棱柱等纯水的温度分布场图则界限清晰、分段明确，温度条带呈现跃变情况，这表示同质量纯水的初、终温度设定加热过程中，从加热区到圆柱纯水整体温度达到一致的速度较慢，而从加热区到棱柱纯水整体温度达到一致速度较快，出现此情况是由于盛水容器形状的不同，液体层间热传递时温度变化有梯度差别，圆柱形纯水的液体分子“相互搅拌”(传热)较快，整体温度达到一致的时间较短，而棱柱形纯水液体分子“相互搅拌”(传热)较慢，整体温度达到一致的时间较长的原因。

## 3.2. 轴向热通量分析

### 3.2.1. 对不同质量和几何形状纯水加热的轴向热通量模拟图

如图 3 和图 4 所示。



**Figure 3.** The chart of the axial heat flux of 1 kg pure water of cylinder, cuboid, and pentagonal prism

**图 3.** 1 kg 圆柱、长方体、五棱柱纯水的轴向热通量图



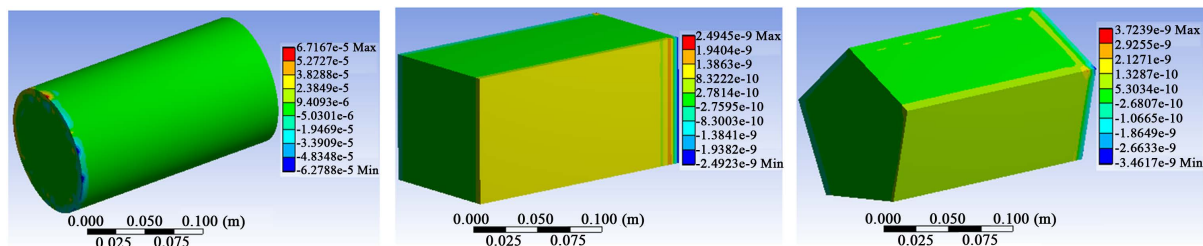


Figure 4. The chart of the axial heat flux of 2 kg pure water of cylinder, cuboid, and pentagonal prism

图 4. 2 kg 圆柱、长方体、五棱柱纯水的轴向热通量图

### 3.2.2. 轴向热通量分析

从图 3、图 4 看出, 用稳定热源在一维导热条件下对不同质量圆柱、长方体和五棱柱纯水分别加热时, 它们的热通量总体趋势均沿轴向且较稳定, 但加热同体积(本文水的密度相同, 也可以认为是同质量)底面为四边形、五边形等棱柱形纯水体时有明显的棱边散热显示, 随着棱边增多, 侧面散热量增大, 而加热同体积底面为圆形时的圆柱纯水体时, 侧面散热量较小。这是由于加热同体积的棱柱形纯水体时, 随着棱边增多, 棱柱侧面积增大(即周边散热面积增大), 热量集中性较差, 轴向热通量较差, 周边热量散失相应较多, 而加热底面为圆形时的圆柱纯水体时, 与同体积的棱柱纯水体相比, 侧面积最小, 即周边散热面积最小, 热量集中程度较强, 轴向热通量较集中, 周边热量散失较少的原因。

## 4. 结论

本文使用 Siemens UG 和 Ansys 软件对稳定热源一维传热条件下加热不同质量、不同形状纯水温度场、热通量进行模拟并作分析研究。研究结论: 1) 同质量、不同几何形状纯水的温度分布和温度梯度不同, 柱形纯水的温度分布场图为交叠浑浊状, 温度条带呈现渐变情形, 而棱柱形纯水的温度分布场图则界限清晰、分段明确, 温度条带是跃变情况; 2) 每种形状纯水的温度分布场和温度梯度不随质量而变; 3) 同质量的圆柱和棱柱形纯水的温度分布场和温度梯度情况反映出加热圆柱纯水和棱柱形纯水时从加热区到纯水整体温度达到一致的速度不同, 前者较快, 后者较慢, 这也是人们平时选择类圆柱容器对水加热的主要原因; 4) 初、终温度设定时加热不同质量的各形状纯水至整体温度达到一致所经温度变化阶段均相同。5) 总热通量确定时, 轴向热通量总体趋势相同, 但在棱柱纯水的棱边处有散热效应, 棱边越多此效应越强, 圆柱纯水最弱; 另外, 加热棱柱纯水时的棱边散热效应随纯水质量增加而相应增强。通过模拟分析, 使抽象的传热过程具体、直观、形象的呈现, 可让读者深入理解传热微过程, 对热学教学极有帮助, 同时还为加热器形状的择优选择提供参考信息。

## 参考文献

- [1] 艾书民, 王克明, 繆辉, 等. 稳态温度场作用下涡轮叶片振动特性的研究[J]. 沈阳航空航天大学学报, 2011, 28(4): 17-21.
- [2] 华鹏, 孙俊生. 有限元软件 SYSWELD 在焊接数值模拟中的作用[J]. 山东机械, 2005(1): 10-12.
- [3] 张月红. 感应加热温度场的数值模拟[D]: [硕士学位论文]. 无锡: 江南大学, 2008.
- [4] 刘一兵, 刘国华. ANSYS 的关键技术及热分析研究[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 2008, 10(6): 104-107.
- [5] 张松涛, 李民. ANSYS 在分析混凝土结构温度场及温度应力中的应用[J]. 中国水运(理论版), 2006, 4(5): 54-56.
- [6] 李椿, 章立源, 钱尚武. 热学[M]. 第二版, 北京: 人民教育出版社, 2010: 168-183.
- [7] 马承伟, 陆海, 李睿, 等. 日光温室墙体传热的一维差分模型与数值模拟[J]. 农业工程学院, 2010, 26(6): 231-237.

**知网检索的两种方式：**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2160-7567，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[app@hanspub.org](mailto:app@hanspub.org)