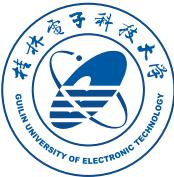


密 级 _____



桂林电子科技大学
GUILIN UNIVERSITY OF ELECTRONIC TECHNOLOGY

硕士 学位 论文

题目 基于嵌入式散热模块的微通道散热技术研究

(英文) Research on microchannel heat dissipation technology
based on embedded heat dissipation module

研 究 生 学 号: 2020XXX

研 究 生 姓 名: 燮铭

指导教师姓名、职称: 燮铭 教授

申 请 学 位 门 类: 工学硕士

学 科、专 业: 机械工程

论 文 答 辩 日 期: 2023 年 10 月 16 日

独创性声明

本人声明所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢中所罗列的内容以外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果；也不包含为获得桂林电子科技大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中做了明确的说明并表示了谢意。

申请学位论文与资料若有不实之处，本人承担一切相关责任。

本人签名： 日期：

关于论文使用授权的说明

本人完全了解桂林电子科技大学有关保留和使用学位论文的规定，即：研究生在校攻读学位期间论文工作的知识产权单位属桂林电子科技大学。本人保证毕业离校后，结合学位论文研究成果完成的论文、发明专利等成果，署名单位仍然为桂林电子科技大学。学校有权保留递交论文的复印件，允许查阅和借阅论文；学校可以公布论文的全部或部分内容，可以允许采用影印、缩印或其它复制手段保存论文。（保密的论文在解密后遵守此规定）

作者签名： 日期：

导师签名： 日期：

摘要

LaTeX 利用设置好的模板，可以编译为格式统一的 pdf。目前国内大多出版社与高校仍在使用 word，word 由于其强大的功能与灵活性，在新手面对形式固定的论文时，排版、编号、参考文献等简单事务反而会带来很多困难与麻烦，对于一些需要通篇修改的问题，要想达到 LaTeX 的效率，对 word 使用者来说需要具有较高的技能水平。

为了能把主要精力放在论文撰写上，许多国际期刊和高校都支持 LaTeX 的撰写与提交，新手不需要关心格式问题，只需要按部就班的使用少数符号标签，即可得到符合要求的文档。且在需要全篇格式修改时，更换或修改模板文件，即可直接重新编译为新的样式文档，这对于 word 新手使用 word 的感受来说是不可思议的。此项目提供用于排版桂林电子科技大学本硕博(非全，在职)毕业论文(设计)LaTeX 模板类，旨在帮助桂林电子科技大学的毕业生高效地完成毕业论文的写作。

关键词：桂林电子科技大学；本硕博学位论文；LaTeX 模板类

ABSTRACT

LaTeX can be compiled into a pdf of uniform format using the set template. At present, most domestic publishers and universities still use word. Because of its powerful function and flexibility, when faced with fixed-form papers by novices, simple matters such as typesetting, numbering, and reference documents will bring many difficulties and troubles. For some problems that need to be modified throughout, to achieve the efficiency of LaTeX, it requires a high level of skill for word users.

In order to focus on the writing of papers, many international journals and universities support the writing and submission of LaTeX. Novices don't need to care about formatting issues. They only need to use a few symbolic labels step by step to get the documents that meet the requirements. And when you need to modify the entire format, you can directly recompile the template file by replacing or modifying the template file. This is incredible for the word novice to use the word.

This project provides the LaTeX template class for typesetting the graduation thesis (design) of Guilin University of Electronic Science and Technology, aiming to help graduates of Guilin University of Electronic Science and Technology efficiently complete the writing of their graduation thesis.

Keywords: GUET; Common template; L^AT_EX;

插图索引

图 2-1 处理器发展	3
图 2-2 三种强化传热途径示意图	4

插表索引

表 3-1 微通道的划分	5
表 3-2 三线表示例 (tabulararray 自定义环境).....	5
表 3-3 RSM 仿真实验规划表	5

符号说明

T_f	流体温度 (K)	f	流体
T_s	固体温度 (K)	s	固体
希腊字符		缩略语	
μ_f	流体动力粘度 ($kg/(m \cdot s)$)	PCB	Printed Circuit Board
ρ_f	流体密度 (kg/m^3)	LTCC	Low temperature cofired ceramic
下标		MATD	mean absolute temperature deviation

目 录

摘要	I
ABSTRACT	II
插图索引	III
插表索引	IV
符号说明	V
第一章 关于模板的说明	1
§1.1如何看本文档	1
§1.2环境配置与模板参数说明	1
§1.3节标题示例	1
§1.3.1小节标题	1
§1.4参考文献插入示例	1
§1.5列表示例	1
§1.5.1纯数字编号	1
§1.5.2罗马编号	1
§1.5.3括号编号	2
§1.5.4半括号编号	2
§1.5.5小字母编号	2
§1.5.6自定义编号	2
§1.6本论文的结构安排	2
第二章 图片示例	3
§2.1图片排版示例	3
§2.1.1图片格式	3
§2.1.2单图排版示例	3
§2.1.3多图排版示例	3
§2.2本章小节	4
第三章 表格示例	5
§3.1普通三线表示例	5
§3.2跨页表格示例	5
第四章 数学公式示例	7
§4.1公式示例	7
§4.1.1普通带序号公式	7
§4.1.2需要对齐的多个带序号的公式	7

目 录

§4.1.3 需要换行对齐的长公式	7
§4.1.4 其他公式示例	8
§4.2 本章小节	8
第五章 算法与定理的示例	9
§5.1 算法示例	9
§5.2 定理定义示例	9
第六章 全文总结与展望	10
§6.1 文字操作	10
§6.2 空白符号	10
§6.3 L ^A T _E X 控制符	10
§6.4 后续工作展望	11
参考文献	13
致 谢	14
攻读硕士学位期间取得的成果	15

第一章 关于模板的说明

§1.1 如何看本文档

本文档简单介绍了模板的一些基础使用方法，在阅读本文档时，应当将代码与 PDF 文档对照来看，了解各个代码所对应的实现效果。

§1.2 环境配置与模板参数说明

请详细阅读本项目根目录下的 README.md 文档

§1.3 节标题示例

§1.3.1 小节标题

1. 小小节标题

§1.4 参考文献插入示例

\LaTeX 插入参考文献只需在`\cite{}` 中输入文献的 key 即可，如：示例^[1]。如需插入多个参考文献只需用英文逗号分隔即可， \LaTeX 会自动进行排序整理文献，如：示例^[1-3] 实际应用如下：

随着人工智能和第五代移动通信技术等系统技术的发展^[1]，推动着半导体行业在移动便携设备、高性能计算机、自动驾驶、物联网和大数据等应用领域的发展^[1]，同时也推动着电子芯片向着小型化和高集成化方向发展快速发展^[1-3]。……

§1.5 列表示例

§1.5.1 纯数字编号

1. XXXXXXXXXX
2. XXXXXXXXXX
3. XXXXXXXXXX

§1.5.2 罗马编号

- (i) XXXXXXXXXX
- (ii) XXXXXXXXXX
- (iii) XXXXXXXXXX

§1.5.3 括号编号

- (1) XXXXXXXXXX
- (2) XXXXXXXXXX
- (3) XXXXXXXXXX

§1.5.4 半括号编号

- 1) XXXXXXXXXX
- 2) XXXXXXXXXX
- 3) XXXXXXXXXX

§1.5.5 小字母编号

- a) XXXXXXXXXX
- b) XXXXXXXXXX
- c) XXXXXXXXXX

§1.5.6 自定义编号

步骤一、XXXXXX;
步骤二、XXXXXX;
步骤三、XXXXXX;

§1.6 本论文的结构安排

第一章：绪论。本章主要进行整体说明。

第二章：图片示例。

第三章：表格示例。

第四章：数学公式示例。

第五章：列表、算法、定理、证明插入示例。

第六章：全文总结与展望。本次研究工作进行总结，并根据全文研究过程中……。

第二章 图片示例

§2.1 图片排版示例

注意： 使用`\caption[]{}{}` 命令时，如果不需要设置缩写目录的内容，一定要删掉`[]`，否则插图插表索引将不会显示该图或表的目录。

建议： 在论文写作时图片位置可以先按照写作时的习惯进行放置，待到完成所有写作内容后再进行详细调整图片位置。

§2.1.1 图片格式

`LATEX` 中图片推荐使用 `pdf` 格式。使用 `Origin` 可导出矢量无白边的图片以保证清晰度，其次推荐使用 `jpg`, `png` 格式图片。

为了保证图片的清晰，`jpg` 图片导出时 `ppi` 建议设置为 300, `png` 图片导出时建议宽度设置为 1024 像素（可根据需求自行设置），长度随宽度变化。

§2.1.2 单图排版示例

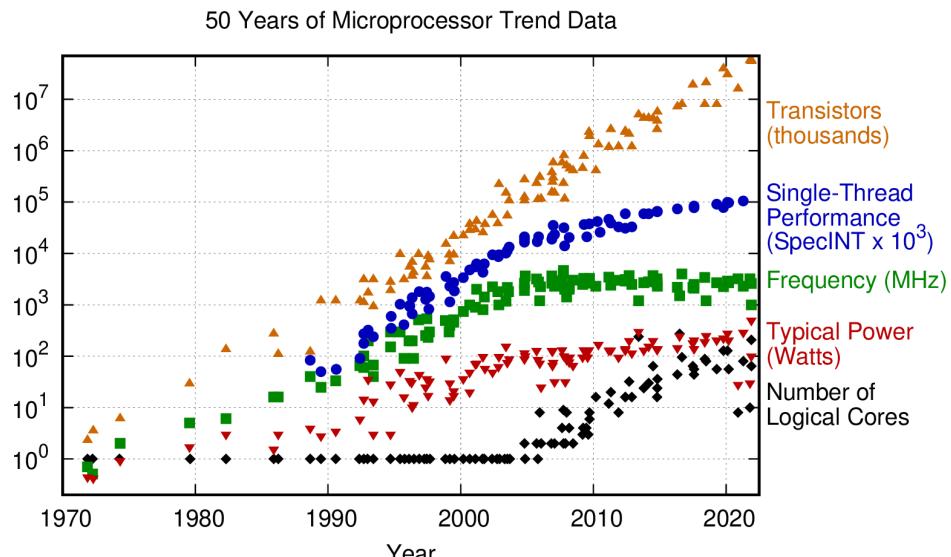


图 2-1 近 50 年微处理器发展趋势

图片引用示例：图 2-1。

§2.1.3 多图排版示例

同一行中的子图之间要留有空间，不要占满！否则会自动换行！

子图之间空一行表示换行。

插入子图请使用`\subfloat[]{}{}` 命令。

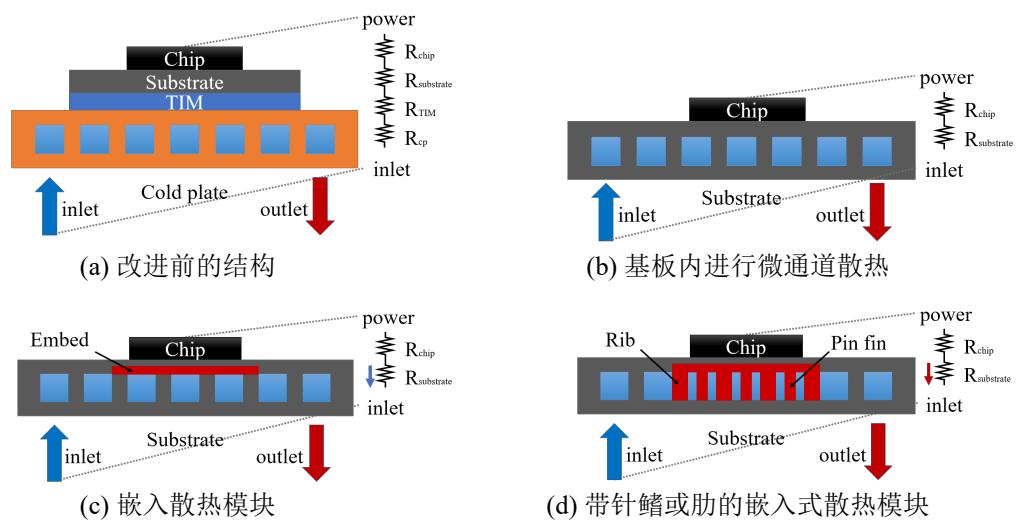


图 2-2 三种强化传热途径示意图

子图引用示例：图 2-2(a)，

整图引用示例：图 2-2。

§2.2 本章小节

本章介绍了基于嵌入式散热模块的微通道散热技术所涉及的基.....

第三章 表格示例

可使用 excel 绘制表格，然后粘贴到以下网站中生成 latex 表格代码，然后再在网站中进行详细调整

推荐网站如下：

<https://www.tablesgenerator.com/>

<https://www.latex-tables.com/>

§3.1 普通三线表示例

普遍学者认为，微通道指的是水力直径在 $10 \mu\text{m}$ 到 $1000 \mu\text{m}$ 范围内的通道（也有观点认为是 $1 \mu\text{m}$ 到 $100 \mu\text{m}$ ）所构成的换热器。以下是较为常见的微通道尺寸分类，可以参见表 3-1。

表 3-1 微通道的划分^[4]

通道种类	水力直径 μm
分子纳米通道	≤ 0.1
过渡性纳米通道	$0.1 \sim 1$
过渡性微通道	$1 \sim 10$
微通道	$10 \sim 1000$
常规通道	> 1000

表 3-2 三线表示例 (tabulararray 自定义环境)

表头 1	表头 2
内容 1	内容 2
内容 3	内容 4

§3.2 跨页表格示例

表 3-3 RSM 仿真实验规划表

标准序	运行序	H_{rib} (mm)	H_{pf} (mm)	N_{pf}	N_{ac}
11	1	0.16	0.8	6	16
13	2	0.16	0.16	22	16

表 3-3 RSM 仿真实验规划表 (续)

标准序	运行序	H_{rib} (mm)	H_{pf} (mm)	N_{pf}	N_{ac}
15	3	0.16	0.8	22	16
12	4	0.8	0.8	6	16
10	5	0.8	0.16	6	16
2	6	0.8	0.16	6	0
19	7	0.48	0.48	14	8
1	8	0.16	0.16	6	0
20	9	0.48	0.48	14	8
18	10	0.48	0.48	14	8
8	11	0.8	0.8	22	0
14	12	0.8	0.16	22	16
6	13	0.8	0.16	22	0
17	14	0.48	0.48	14	8
7	15	0.16	0.8	22	0
16	16	0.8	0.8	22	16
4	17	0.8	0.8	6	0
9	18	0.16	0.16	6	16
5	19	0.16	0.16	22	0
3	20	0.16	0.8	6	0
25	21	0.48	0.48	6	8
22	22	0.8	0.48	14	8
23	23	0.48	0.16	14	8
29	24	0.48	0.48	14	8
28	25	0.48	0.48	14	16
30	26	0.48	0.48	14	8
26	27	0.48	0.48	22	8
27	28	0.48	0.48	14	0
21	29	0.16	0.48	14	8
24	30	0.48	0.8	14	8

第四章 数学公式示例

本章在第三章完成基……。

§4.1 公式示例

在本次研究中应用到计算流体动力学（Computational Fluid Dynamics, CFD）对研究对象进……。

§4.1.1 普通带序号公式

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (4-1)$$

u, v, w 分别是 x, y, z 方向的速度分量。

§4.1.2 需要对齐的多个带序号的公式

& 号为对其对齐标记最好放置在计算符号之前，如 =、+、-之前；\\ 表示换行。

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_f} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\mu_f}{\rho_f} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (4-2)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_f} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\mu_f}{\rho_f} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (4-3)$$

$$u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_f} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\mu_f}{\rho_f} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (4-4)$$

ρ_f 和 μ_f 分别是冷却剂的密度和动态粘度， p 是冷却剂压力。

§4.1.3 需要换行对齐的长公式

$$f_3 = 6.272 + 3.02A + 6.08B + 0.0368C - 0.8848D \\ + 0.04381D^2 + 6.35AB - 0.3602AD - 0.5497BD \quad (4-5)$$

§4.1.4 其他公式示例

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{find } H_{rib}, H_{rib}, N_{pf}, N_{ac} \\ \min F(H_{rib}, H_{rib}, N_{pf}, N_{ac}) = \min\{f_1, f_2, f_3\} \\ \text{s.t. } 0.2 \leq H_{rib} \leq 0.8 \\ \quad 0.2 \leq H_{pf} \leq 0.8 \\ \quad 6 \leq N_{pf} \leq 22, N_{pf} \in \mathbb{O} \\ \quad 0 \leq N_{ac} \leq 16, N_{ac} \in \mathbb{E} \end{array} \right. \quad (4-6)$$

§4.2 本章小节

第五章 算法与定理的示例

§5.1 算法示例

算法示例如下：

算法 5-1 How to write an algorithm.

Data: this text

Result: how to write algorithm with L^AT_EX2e

```
1 initialization;
2 while not at end of this document do
3   read current;
4   if understand then
5     go to next section;
6     current section becomes this one;
7   else
8     go back to the beginning of current section;
9   end
10 end
```

§5.2 定理定义示例

定理 5.1 XXXXXXXXXXXX

证明：XXXXXXXXXX

□

推论 5.2 XXXXXXXXXXXX

引理 5.3 XXXXXXXXXXXX

第六章 全文总结与展望

§6.1 文字操作

高亮显示: `\hl{ }`
加粗: `\textbf{ }`
斜体: `\textit{ }`
下划线: `\underline{ }`
下划线: `\uline{ }`
双下划线: `\uuline{ }`
波浪线: `\uwave{ }`
删除线: `\sout{ }`
斜线: `\xout{ }`
带点的下划线: `\dotuline{ }`
虚线下划线: `\dashuline{ }`

§6.2 空白符号

1em: a b
2em: a b
1/6 个 em: a b 或 a b
0.5 个 em: a b
空格: a b
硬空格: a b
指定宽度 1pc: a b
指定宽度-1emba
指定宽度 1em: a b
指定宽度 35pt: a b
占位宽度为 xyz: a b
弹性长度: a b

§6.3 L^AT_EX 控制符

\$ { } ~ _ ^ \&

§6.4 后续工作展望

本文主要研究基于嵌入式散热模块的微通道散热技术，提出并研究基于嵌入式散热模块的微通道在温度场-流场-压力场等多物理场耦合作用下的流动与传热特性，分析结果表明所提出的基于嵌入式散热模块的微通道能够显著的提高微通道的传热性能、温度均匀性和流动性能。通过比较分析确定采用带有针鳍-肋嵌入式散热模块的微通道（MC-RPF）为多热源散热结构的核心散热结构。随后通过响应面分析法与快速非支配排序遗传算法以热阻、温度标准差、压降为目标对 MC-RPF 进行多目标优化，并通过 TOPSIS 算法进行多维决策，得到综合性能最优的 MC-RPF 结构参数。最后提出基于 MC-RPF 的多热源散热结构，同时提出了三种 MC-RPF 互联流道，通过对三种 MC-RPF 互联流道进行多物理场耦合仿真分析，采用 TOPSIS 算法进行综合评价，选定混联式作为 MC-RPF 互联流道，随后对混联式 MC-RPF 多热源散热结构进行压降优化。具体的研究工作内容及研究结论如下：

本文主要研究基于嵌入式散热模块的微通道散热技术，并探讨其在多物理场耦合作用下的流动和传热特性。所提出的基于嵌入式散热模块的微通道能够显著提高微通道的传热性能和温度均匀性。通过比较分析，确定了具有针鳍-肋嵌入式散热模块的微通道（MC-RPF）为多热源散热结构的核心散热结构。使用响应面分析法和快速非支配排序遗传算法对 MC-RPF 进行多目标优化，获取一系列最优解集。并使用 TOPSIS 算法来进行多维决策，以三目标等权重为条件获得用于后续研究的 MC-RPF 结构参数。最后，提出了基于 MC-RPF 的多热源散热结构，并提出了三种 MC-RPF 互联流道。通过对三种 MC-RPF 互联流道进行多物理场耦合仿真分析，并使用 TOPSIS 算法进行综合评价，确定以混联式作为 MC-RPF 互联流道。并对混联式 MC-RPF 多热源散热结构进行了压降优化。具体的研究工作内容及研究结论如下：

一、基于嵌入式散热模块的微通道流动与传热性能研究。本研究提出并深入探究基于嵌入式散热模块的微通道在多物理场耦合作用下的流动与传热特性。在文献综述的基础上，本研究提出了三种强化传热途径来提高 LTCC 基板的传热性能，即采用微通道散热以缩短传热路径、嵌入散热模块以减少整体热阻以及在嵌入式散热模块上制作针鳍或肋以增强传热能力。本研究结合这三种途径，设计了三种基于嵌入式散热模块的微通道，并采用数值计算的方式对它们与直矩形微通道在传热性能、温度均匀性以及流动性能等三个方面进行对比分析。研究结果表明，MC-RPF 能够以增加压降 26.71% 的代价，提升了 41.02% 传热性能和 59.61% 的温度均匀性，因此 MC-RPF 被选作多热源散热的核心散热结构。将 MC-RPF 与其他陶瓷基板微通道散热方案进行比较，结果表明，本研究所提出的微通道散热方案在冷却工质相同的情况下，能够有效地提升 LTCC 基板的散热性能。进一步研究 MC-RPF 上的四个主要结构参数，即肋高、针鳍高、针鳍数目和辅流道数目，分析了它们对 MC-RPF 流动传热性能的影响。研究结果表明，肋高主要通过增加对流换热面积和提高流速的方式来提升 MC-RPF 的传热性能和温度均匀性。针鳍

高则通过迫使流量进行再分配来影响 MC-RPF 的传热性能。在低流量下，针鳍数目的增加对温度均匀性呈现负面影响，在高流量下，针鳍数目对压降几乎没有影响。辅流道数目通过改变流道内流速的方式对传热性能和温度均匀性产生显著影响，并在高流量下对压降产生显著影响，但在低流量下对压降影响有限。

参考文献

- [1] Lau J H. Recent Advances and Trends in Advanced Packaging[J]. IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, 2022, 12(2): 228-252.
- [2] Sadique H, Murtaza Q, Samsher. Heat transfer augmentation in microchannel heat sink using secondary flows: A review[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2022, 194: 123063.
- [3] Tan H, Du P, Zong K, et al. Investigation on the temperature distribution in the two-phase spider netted microchannel network heat sink with non-uniform heat flux[J]. International Journal of Thermal Sciences, 2021, 169: 107079.
- [4] 吕嗣鸿. 均温散热微小通道的结构研究[D]. 电子科技大学, 2021.

致 谢

致 谢

在攻读硕士学位期间，首先衷心感谢我的导师 XXX 教授

焱铭

二〇二三年 五月二十六日 凌晨六点

桂林电子科技大学机电工程学院 C323 实验室

攻读硕士学位期间取得的成果

一、参与的项目：

- [1] XXX 理论技术研究，XXX 项目，2020-2021，已结题。

二、发表论文：

- [1] XXX, 焱铭, et al. Here is the name of the paper [J]. Applied Thermal Engineering, 2023, 225: 120167. (TOP 期刊, 中科院一区, IF: 6.465, 共同一作)

三、发明专利：

- [1] XXX, 焱铭, XXX 等. 一种基于 XXX 仿真方法: 中国, CNXXXXXXXXXXXXA [P]. 2022.

四、软件著作权：

- [1] XXX, 焱铭. 基于 Fluent 的 XXX 仿真自动化软件 [CP]. 中国广西桂林: 桂林电子科技大学, 2022.

五、科研竞赛获奖：

- [1] 第十五届全国数字工业设计大赛广西赛区二等奖（排名第二）