

形状记忆聚氨酯的合成及其在织物中的应用

姓名： 张三

学号： 31xxxxxxxx

学院： 材料学院

2022 年 6 月



形状记忆聚氨酯的合成及其在织物中的应用

张三

北京理工大学

中图分类号: TQ028.1

UDC 分类号: 540

形状记忆聚氨酯的合成及其在织物中的应用

作 者 姓 名	张三
学 院 名 称	材料学院
指 导 教 师	李四教授
行业合作导师	李五教授
答辩委员会主席	王五教授
申 请 类 别	材料与化工博士
学 位 领 域	材料工程
学位授予单位	北京理工大学
论文答辩日期	2025 年 6 月

Synthesis and Application on textile of the Shape Memory Polyurethane

Candidate Name:	<u>San Zhang</u>
School or Department:	<u>Materials Science and Engineering</u>
Faculty Mentor:	<u>Prof. Si Li</u>
Industry Collaboration Mentor:	<u>Prof. Wu Li</u>
Chair, Thesis Committee:	<u>Prof. Wang Wu</u>
Degree Applied:	<u>Doctor of Materials</u> <u>and Chemical Engineering</u>
Major:	<u>Materials Science and Engineering</u>
Degree by:	<u>Beijing Institute of Technology</u>
The Date of Defence:	<u>June, 2025</u>

研究成果声明

本人郑重声明：所提交的学位论文是我本人在指导教师的指导下独立完成的研究成果。文中所撰写内容符合以下学术规范（请勾选）：

☒ 论文综述遵循“适当引用”的规范，全部引用的内容不超过 50%。

☒ 论文中的研究数据及结果不存在篡改、剽窃、抄袭、伪造等学术不端行为，并愿意承担因学术不端行为所带来的一切后果和法律责任。

☒ 文中依法引用他人的成果，均已做出明确标注或得到许可。

☒ 论文内容未包含法律意义上已属于他人的任何形式的研究成果，也不包含本人已用于其他学位申请的论文或成果。

☒ 与本人一同工作的合作者对此研究工作所做的任何贡献均已在学位论文中作了明确的说明并表示了谢意。

特此声明。

签 名：

日 期：

关于学位论文使用权的说明

本人完全了解北京理工大学有关保管、使用学位论文的规定，其中包括：

① 学校有权保管、并向有关部门送交学位论文的原件与复印件；

② 学校可以采用影印、缩印或其它复制手段复制并保存学位论文；

③ 学校可允许学位论文被查阅或借阅；

④ 学校可以学术交流为目的，复制赠送和交换学位论文；

⑤ 学校可以公布学位论文的全部或部分内容（保密学位论文在解密后遵守此规定）。

签 名：

日 期：

导师签名：

日 期：

摘要

本文……（摘要是一篇具有独立性和完整性的短文，应概括而扼要地反映出本论文的主要内容。包括研究目的、研究方法、研究结果和结论等，特别要突出研究结果和结论。中文摘要力求语言精炼准确，博士学位论文建议 1000~1200 字，硕士学位论文摘要建议 500~800 字。摘要中不可出现参考文献、图、表、化学结构式、非公知公用的符号和术语。英文摘要与中文摘要的内容应完全一致，在语法、用词上应准确无误，语言简练通顺。留学生的英文版博士学位论文中应有不少于 3000 字的“详细中文摘要”。）

关键词：形状记忆；聚氨酯；织物；合成；应用（硕士一般选 3~6 个单词或专业术语，博士一般选 3~8 个单词或专业术语，且中英文关键词必须对应。【提醒】关键词不要与学科或专业名称等专有名词一致或相近。）——请在“main.tex”开头设置

Abstract

In order to exploit...

Lorem ipsum dolor sit amet, officia excepteur ex fugiat reprehenderit enim labore culpa sint ad nisi Lorem pariatur mollit ex esse exercitation amet. Nisi anim cupidatat excepteur officia. Reprehenderit nostrud nostrud ipsum Lorem est aliquip amet voluptate voluptate dolor minim nulla est proident. Nostrud officia pariatur ut officia. Sit irure elit esse ea nulla sunt ex occaecat reprehenderit commodo officia dolor Lorem duis laboris cupidatat officia voluptate. Culpa proident adipisicing id nulla nisi laboris ex in Lorem sunt duis officia eiusmod. Aliqua reprehenderit commodo ex non excepteur duis sunt velit enim. Voluptate laboris sint cupidatat ullamco ut ea consectetur et est culpa et culpa duis.

Key Words: shape memory properties; polyurethane; textile; synthesis; application

目录

第 1 章 绪论	1
1.1 本论文研究的目的和意义	1
1.2 国内外研究现状及发展趋势	1
1.2.1 形状记忆聚氨酯的形状记忆机理	1
1.2.2 形状记忆聚氨酯的研究进展	1
1.2.3 水系聚氨酯及聚氨酯整理剂	2
1.3 常见问题和疑难解答	3
第 2 章 具体研究内容	4
结论	5
参考文献	6
附录 A 费马大定理的证明	7
附录 B Maxwell Equations	8
附录 C 要求	9
C.1 一级标题	9
C.1.1 二级标题	9
攻读学位期间发表论文与研究成果清单	10
致谢	11
作者简介	12

插图

图 1.1 热塑性形状记忆聚氨酯的形状记忆机理示意图	2
----------------------------------	---

表格

表 1.1 水系聚氨酯分类	2
---------------------	---

主要符号对照表

BIT	北京理工大学的英文缩写
\LaTeX	一个很棒的排版系统
$\text{\LaTeX} 2_{\epsilon}$	一个很棒的排版系统的最新稳定版
ctex	成套的中文 \LaTeX 解决方案，由一帮天才们开发
$e^{\pi i} + 1 = 0$	一个集自然界五大常数一体的炫酷方程

第 1 章 绪论

正文包括绪论、论文具体研究内容及结论部分。博士学位论文：一般为 6~10 万字，其中绪论要求为 1 万字左右。硕士学位论文：一般为 3~5 万字，其中绪论要求为 0.5 万字左右。(外语学科：中文、日文不少于 3 万字，西文 2 万字左右。)

绪论一般作为第 1 章。绪论应包括本研究课题的学术背景及其理论与实际意义；本领域的国内外研究进展及成果、存在的不足或有待深入研究的问题；本研究课题的来源及主要研究内容等。

1.1 本论文研究的目的和意义

近年来，随着人们生活水平的不断提高，人们越来越注重周围环境对身体健康的影响。作为服装是人们时时刻刻最贴近的环境，尤其是内衣，对人体健康有很大的影响。由于合时时刻刻最贴近的环境，尤其是内衣，对人体健康有很大的影响。由于合成纤维的衣着舒适性、手感性，天然纤维的发展又成为人们关注的一大热点。

.....[1-5]

1.2 国内外研究现状及发展趋势

1.2.1 形状记忆聚氨酯的形状记忆机理

根据文献[6]，形状记忆聚合物（SMP）是继形状记忆合金后在 80 年代发展起来的一种新型形状记忆材料。形状记忆高分子材料在常温范围内具有塑料的性质，即刚性、形状稳定恢复性；同时在一定温度下（所谓记忆温度下）具有橡胶的特性，主要表现为材料的可变形性和形变恢复性。即“记忆初始态—固定变形—恢复起始态”的循环。

固定相只有物理交联结构的聚氨酯称为热塑性 SMPU，而有化学交联结构称为热固性 SMPU。热塑性和热固性形状记忆聚氨酯的形状记忆原理示意图如图 1.1 所示

1.2.2 形状记忆聚氨酯的研究进展

首例 SMPU 是日本 Mitsubishi 公司开发成功的……。

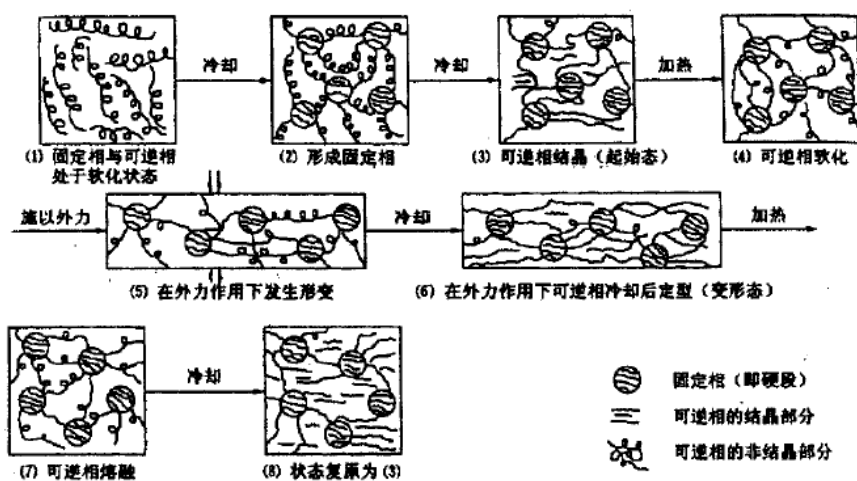


图 1.1 热塑性形状记忆聚氨酯的形状记忆机理示意图

1.2.3 水系聚氨酯及聚氨酯整理剂

水系聚氨酯的形态对其流动性，成膜性及加工织物的性能有重要影响，一般分为三种类型^[6]，如表 1.1所示。

表 1.1 水系聚氨酯分类

类别	水溶型	胶体分散型	乳液型
状态	溶解 ~ 胶束	分散	白浊
外观	水溶型	胶体分散型	乳液型
粒径 / μm	< 0.001	$0.001 - 0.1$	> 0.1
重均分子量	$1000 \sim 10000$	数千 ~ 20 万	> 5000

1.2.3.1 四级节标题

根据需要，也可设四级节标题。

由于它们对纤维织物的浸透性和亲和性不同，因此在纺织品染整加工中的用途也有差别，其中以水溶型和乳液型产品较为常用。另外，水系聚氨酯又有反应性和非反应性之分。虽然它们的共同特点是分子结构中不含异氰酸酯基，但前者是用封闭剂将异氰酸酯基暂时封闭，在纺织品整理时复出。相互交联反应形成三维网状结构而固着在织物表面。……

1.3 常见问题和疑难解答

如果您遇到生僻字无法显示、列表项间距过大、三线表需要跨页等问题，请参考[在线文档](#)的「疑难杂症」部分。

第 2 章 具体研究内容

具体研究内容是学位论文的主要部分，是研究结果及其依据的具体表述，是研究能力的集中体现，一般应包括第 2 章、第 3 章至结论前一章。具体研究内容应该结构合理，层次清楚，重点突出，文字简练、通顺。可包括以下各方面：研究对象、研究方法、仪器设备、材料原料、实验和观测结果、理论推导、计算方法和编程原理、数据资料和经过加工整理的图表、理论分析、形成的论点和导出的结论等。具体研究内容各章后可有一节“本章小结”（必要时）。

定理 2.1 (留数定理). 假设 U 是复平面上一个单连通开子集, a_1, \dots, a_n 是复平面上有限个点, f 是定义在 $U \setminus \{a_1, \dots, a_n\}$ 上的全纯函数, 如果 γ 是一条把 a_1, \dots, a_n 包围起来的可求长曲线, 但不经过任何一个 a_k , 并且其起点与终点重合, 那么:

$$\oint_{\gamma} f(z) dz = 2\pi i \sum_{k=1}^n I(\gamma, a_k) \text{Res}(f, a_k) \quad (2.1)$$

如果 γ 是若尔当曲线, 那么 $I(\gamma, a_k) = 1$, 因此:

$$\oint_{\gamma} f(z) dz = 2\pi i \sum_{k=1}^n \text{Res}(f, a_k) \quad (2.2)$$

在这里, $\text{Res}(f, a_k)$ 表示 f 在点 a_k 的留数, $I(\gamma, a_k)$ 表示 γ 关于点 a_k 的卷绕数。卷绕数是一个整数, 它描述了曲线 γ 绕过点 a_k 的次数。如果 γ 依逆时针方向绕着 a_k 移动, 卷绕数就是一个正数, 如果 γ 根本不绕过 a_k , 卷绕数就是零。

证明. 首先, 由……

其次, ……

所以, 由定理 2.1 可知……

■

有关公式与上下文间距的一些注意事项: 请保证源码中的公式的环境 (如 `\begin{equation}`) 与上一段落不要有空行。否则, 公式和上文段落之间会有额外的空白。

结论

本文采用……。 (结论作为学位论文正文的最后部分单独排写，但不加章号。结论是对整个论文主要结果的总结。在结论中应明确指出本研究的创新点，对其应用前景和社会、经济价值等加以预测和评价，并指出今后进一步在本研究方向进行研究工作的展望与设想。结论部分的撰写应简明扼要，突出创新性。)

参考文献

- [1] Takahashi T, Hayashi N, Hayashi S. Structure and properties of shape-memory polyurethane block copolymers[J]. Journal of Applied Polymer Science, 1996, 60(7): 1061-1069.
- [2] Xia M, Chen B, Gang Z, et al. Analysis of Affective Characteristics and Evaluation of Harmonious Feeling of Image Based on 1/f Fluctuation Theory[C]. Developments in Applied Artificial Intelligence, International Conference on Industrial and Engineering, Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems, Iea/aie 2002, Cairns, Australia, June 17-20, 2002, Proceedings. 2002: 780-789.
- [3] 姜锡洲. 一种温热外敷药的制备方法: 881056078[P]. 中国. 1983-08-12.
- [4] 毛峡. 情感工学破解”舒服”之谜[J]. 科技文萃, 2000(7): 157-158.
- [5] 冯西桥, 何树延. 核反应堆管道和压力容器的 LBB 分析[J]. 力学进展, 1998, 28(2): 198-217.
- [6] 姜敏, 彭少贤, 酆华兴. 形状记忆聚合物研究现状与发展[J]. 现代塑料加工应用, 2005, 17(2): 53-56.

附录 A 费马大定理的证明

关于此，我确信已发现了一种美妙的证法，可惜这里空白的地方太小，写不下。

附录 B Maxwell Equations

因为在柱坐标系下， $\bar{\mu}$ 是对角的，所以 Maxwell 方程组中电场 \mathbf{E} 的旋度所以 \mathbf{H} 的各个分量可以写为：

$$H_r = \frac{1}{\mathbf{i}\omega\mu_r} \frac{1}{r} \frac{\partial E_z}{\partial \theta} \quad (\text{B.1a})$$

$$H_\theta = -\frac{1}{\mathbf{i}\omega\mu_\theta} \frac{\partial E_z}{\partial r} \quad (\text{B.1b})$$

同样地，在柱坐标系下， $\bar{\epsilon}$ 是对角的，所以 Maxwell 方程组中磁场 \mathbf{H} 的旋度

$$\nabla \times \mathbf{H} = -\mathbf{i}\omega\mathbf{D} \quad (\text{B.2a})$$

$$\left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r H_\theta) - \frac{1}{r} \frac{\partial H_r}{\partial \theta} \right] \hat{\mathbf{z}} = -\mathbf{i}\omega\bar{\epsilon}\mathbf{E} = -\mathbf{i}\omega\epsilon_z E_z \hat{\mathbf{z}} \quad (\text{B.2b})$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r H_\theta) - \frac{1}{r} \frac{\partial H_r}{\partial \theta} = -\mathbf{i}\omega\epsilon_z E_z \quad (\text{B.2c})$$

由此我们可以得到关于 E_z 的波函数方程：

$$\frac{1}{\mu_\theta\epsilon_z} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial E_z}{\partial r} \right) + \frac{1}{\mu_r\epsilon_z} \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 E_z}{\partial \theta^2} + \omega^2 E_z = 0 \quad (\text{B.3})$$

附录 C 要求

有些材料编入文章主体会有损于编排的条理性和逻辑性，或有碍于文章结构的紧凑和突出主题思想等，这些材料可作为附录另页排在参考文献之后，也可以单编成册。下列内容可作为附录：

1. 为了整篇论文材料的完整，但编入正文有损于编排的条理性和逻辑性的材料，这一类材料包括比正文更为详尽的信息、研究方法和技术等更深入的叙述，以及建议可阅读的参考文献题录和对了解正文内容有用的补充信息等；
2. 由于篇幅过大或取材的复制资料不便于编入正文的材料；
3. 不便于编入正文的罕见珍贵资料；
4. 一般读者无须阅读，但对本专业同行有参考价值的资料；
5. 某些重要的原始数据、推导、计算程序、框图、结构图、注释、统计表、计算机打印输出件等；

C.1 一级标题

C.1.1 二级标题

攻读学位期间发表论文与研究成果清单

- [1] Doe J, **Zhang S**. The Book with Title[M]. Dummy Publisher, 2000. (已出版.).
- [2] 张三, 李杰, 罗运军. 交联型与线形水性聚氨酯的形状记忆性能比较[J]. 化工进展, 2006(01): 78-81. (EI 收录, 检索号:06129773469. 已刊出.).
- [3] 李杰, 张三, 罗运军. 交联型与线形水性聚氨酯的形状记忆性能比较[J]. 化工进展, 2007(01): 78-81. (EI 收录, 检索号:06129773469. 已刊出.).
- [4] **Zhang S**. The Book without Title[M]. Dummy Publisher, 2100. (已出版.).

致谢

本论文的工作是在导师……。

致谢是对下列方面致谢：资助和支持者；协助完成研究工作和提供便利条件者；在研究工作中提出建议和提供帮助者；给予转载和引用权的资料、图片、文献、研究思想和设想的所有者；其他应感谢者。致谢语言要诚恳、恰当、简短。

作者简介

本人…。

硕士学位论文不必提供作者简介。博士学位论文应该提供作者简介，主要包括：姓名、性别、出生年月、民族、出生地；简要学历、工作经历（职务）；攻读学位期间取得的其他研究成果或奖励。