

学校编码: 10384

分类号\_\_\_\_\_密级\_\_\_\_\_

学 号: 19920111152732

UDC\_\_\_\_\_

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

机器人磨削个性化人工髋关节方法  
和实验研究

Research on the Method and Experiment of Robot Grinding  
Individualized Artificial Hip Joint

陈英雄

指导教师姓名: 席文明 教授

专 业 名 称: 测试计量技术及仪器

论文提交日期: 2014 年 4 月

论文答辩时间: 2014 年 5 月

学位授予日期: 2014 年 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2014 年 4 月

## 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为席文明课题(组)的研究成果,获得席文明课题(组)经费或实验室的资助,在微系统集成实验室完成。

声明人(签名):

年 月 日

## 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，  
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。
2. 不保密，适用上述授权。

声明人（签名）：

年 月 日

## 摘要

人体股骨髓腔具有绝对差异性。现有的标准化、系列化人工髋关节产品种类有限，与患者的股骨髓腔不能完全匹配，而且无法满足特殊病人的需求。根据病人髋关节解剖结构和生物力学传递特点，设计制造出与患者股骨髓腔相适应的个性化人工髋关节，不仅能够满足不同患者的需求，而且能够提高人工髋关节的长期稳定性，延长人工髋关节的有效使用寿命。由于个性化人工髋关节的外形复杂，增加了加工工艺的复杂性，导致定制周期长、加工成本高。因此，国内个性化人工髋关节主要用于特殊病例，难以在普通病例中推广。

本论文基于机器人磨削系统，利用 CAD/CAM/Robotic 一体化技术，研究了一种速度快、效率高、成本低的个性化人工髋关节制造方法。首先，在 Mimics 软件中利用股骨 CT 图像数据重建股骨三维模型，并通过布尔运算获取股骨髓腔模型用于个性化人工髋关节柄的设计。然后，在 Pro/E 软件中完成个性化人工髋关节柄和近髋白端的设计，并通过拼接、优化获得完整的个性化人工髋关节。其次，通过利用 ABB 工业机器人离线编程软件 RobotStudio，规划加工轨迹，进行加工仿真，运用机器人磨削系统加工出个性化人工髋关节。最后，通过相关的实验验证了个性化人工髋关节设计与制造方法的可行性，为进一步优化个性化人工髋关节设计和完善加工方法建立理论依据和实验基础，为个性化人工髋关节应力传递研究建立精确模型。

**关键词：** 机器人磨削； 个性化； 人工髋关节

## **Abstract**

Human femoral medullary cavity has absolute difference. The existing standardized and serialized kinds of artificial hip joint are limited, no matching completely with the femoral medullary cavity of the patient, and can't meet the patients' special needs. According to the patient's hip joint anatomical structure and biomechanics transmission characteristic, designing and manufacturing the individualized artificial hip joint that adapts to the femoral medullary cavity of the patient, not only can meet the different patients' needs, but also can improve the long-term stability and extend the effective service life of the artificial hip joint. Due to the complex shape of individualized artificial hip joint, it increases the complexity of the process and leads to a long custom cycle and high processing costs. Therefore, the individualized artificial hip joint is mainly used to special cases in the domestic, and it is difficult to generalize in general cases.

Based on the robot grinding system, the paper is written to research an individualized artificial hip joint manufacturing method by using CAD / CAM / Robotic integration technology. Firstly, reconstruct a three-dimensional model by using the femur CT image data in Mimics software, and get the femoral medullary cavity model through the boolean operation to design the individualized artificial hip joint handle. Then, complete the design of the individualized artificial hip joint shank and the proximal acetabulum in Pro/E software, and get an integrated individualized artificial hip joint by splicing and optimizing. Secondly, plan the processing track and simulate by the ABB industrial robot off-line programming software RobotStudio, and use the robot grinding system for processing the individualized artificial hip joint. Finally, the paper verifies the feasibility of the robot grinding individual artificial hip joint through related experiments, in order to establish the theoretical basis and experimental basis for further optimizing the design of the individualized artificial hip joint and improving the processing methods, as well to establish the accurate model of

the stress transmission research for individualized artificial hip joint.

**Keywords:** robot grinding; individualized; artificial hip joint

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 目 录

<b>第 1 章 绪论</b>	<b>1</b>
1.1 引言	1
1.2 人工髋关节的发展史	2
1.2.1 髋关节假体的演变及设计	2
1.2.2 人工髋关节置换术存在的问题	4
1.3 个性化人工髋关节的研究现状	5
1.3.1 国外研究现状	5
1.3.2 国内研究现状	6
1.4 本论文研究内容	7
<b>第 2 章 标本股骨三维实体模型的建立</b>	<b>9</b>
2.1 引言	9
2.2 医学影像种类	9
2.3 CT 图像数据的处理	10
2.4 基于 CT 数据重建标本股骨三维实体模型	12
2.4.1 标本股骨 CT 图像的获取	12
2.4.2 标本股骨 CT 图像的处理	12
2.4.3 标本股骨三维实体模型的建立	16
2.5 标本股骨有限元模型的建立	17
2.6 小结	19
<b>第 3 章 个性化人工髋关节的设计</b>	<b>20</b>
3.1 引言	20
3.2 个性化人工髋关节设计理论	20
3.2.1 人体髋关节的解剖结构与特点	21
3.2.2 人体髋关节的生物力学特征	21
3.2.3 人工髋关节的力学传递特性	22
3.3 个性化人工髋关节的设计	23
3.3.1 个性化人工髋关节柄设计	24

3.3.2 个性化人工髋关节近髋臼端设计.....	28
<b>3.4 个性化人工髋关节的优化设计.....</b>	<b>29</b>
3.4.1 个性化人工髋关节模型与标本股骨模型的匹配.....	30
3.4.2 个性化人工髋关节模型的优化处理.....	30
<b>3.5 小结.....</b>	<b>32</b>
<b>第4章 CAD/CAM/Robotic 一体化磨削技术.....</b>	<b>33</b>
<b>4.1 引言.....</b>	<b>33</b>
<b>4.2 砂带磨削技术.....</b>	<b>33</b>
4.2.1 常见砂带磨削机的基本组成.....	33
4.2.2 砂带磨粒切削机理.....	35
<b>4.3 CAD/CAM/Robotic 一体化技术.....</b>	<b>36</b>
4.3.1 工业机器人的离线编程.....	36
4.3.2 基于力控的标定技术.....	38
4.3.3 砂带自动调偏技术.....	42
<b>4.4 小结.....</b>	<b>43</b>
<b>第5章 CAD/CAM/Robotic 一体化技术磨削个性化人工髋关节.....</b>	<b>44</b>
<b>5.1 引言.....</b>	<b>44</b>
<b>5.2 机器人磨削人工髋关节与其他加工方法的比较.....</b>	<b>45</b>
5.2.1 快速成型技术和数控加工技术.....	45
5.2.2 机器人磨削人工髋关节与机器人磨削髓腔的比较.....	46
<b>5.3 个性化人工髋关节的磨削加工.....</b>	<b>48</b>
5.3.1 个性化人工髋关节的加工流程.....	49
5.3.2 个性化人工髋关节的加工轨迹规划与仿真.....	49
<b>5.4 个性化人工髋关节磨削加工过程与问题分析.....</b>	<b>51</b>
<b>5.5 小结.....</b>	<b>53</b>
<b>第6章 个性化人工髋关节与标本股骨的匹配实验.....</b>	<b>54</b>
<b>6.1 引言.....</b>	<b>54</b>
<b>6.2 人工髋关节外形尺寸数据分析.....</b>	<b>54</b>
6.2.1 人工髋关节截面测量.....	55
6.2.2 人工髋关节的截面数据分析.....	56



---

6.3 猪关节假体与猪腿骨髓腔的匹配实验 .....	61
6.3.1 猪腿骨关节柄与猪腿骨髓腔匹配的 X 射线图像.....	62
6.3.2 猪腿骨关节柄与猪腿骨髓腔的匹配度计算.....	63
6.4 个性化人工髌关节与标本股骨的匹配实验 .....	67
6.5 小结 .....	69
<b>第 7 章 总结与展望 .....</b>	<b>70</b>
7.1 本文工作总结.....	70
7.2 工作展望.....	71
<b>参 考 文 献 .....</b>	<b>72</b>
<b>致 谢 .....</b>	<b>78</b>
<b>攻读学位期间发表的论文.....</b>	<b>79</b>

厦门大学博硕士论文摘要库

## Contents

<b>Chapter 1 Introduction.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Foreword.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Development history of the artificial hip joint .....</b>	<b>2</b>
1.2.1 The evolution and design of hip joint prosthesis .....	2
1.2.2 Still existed problems of hip arthroplasty .....	4
<b>1.3 Research status of individualized artificial hip joint.....</b>	<b>5</b>
1.3.1 Overseas research status .....	5
1.3.2 Domestic research status.....	6
<b>1.4 Research contents of this paper .....</b>	<b>7</b>
 <b>Chapter 2 The establishment of the three-dimensional solid model of specimen femur .....</b>	 <b>9</b>
<b>2.1 Foreword.....</b>	<b>9</b>
<b>2.2 Medical imaging species .....</b>	<b>9</b>
<b>2.3 CT image data processing .....</b>	<b>10</b>
<b>2.4 Reconstruct the three-dimensional solid model of specimen femur based on CT data .....</b>	<b>12</b>
2.4.1 The acquisition of specimen femur CT image .....	12
2.4.2 The processing of specimen femur CT image .....	12
2.4.3 The establishment of the three-dimensional solid model of specimen femur .....	16
<b>2.5 The establishment of the finite element model of specimen femur .....</b>	<b>17</b>
<b>2.6 Summary.....</b>	<b>19</b>
 <b>Chapter 3 The design of individualized artificial hip joint.....</b>	 <b>20</b>
<b>3.1 Foreword.....</b>	<b>20</b>
<b>3.2 The design theory of individualized artificial hip joint .....</b>	<b>20</b>
3.2.1 The anatomical structure and features of human hip joint.....	21

3.2.2 The biomechanics characteristics of human hip joint.....	21
3.2.3 The mechanical transfer property of artificial hip joint .....	22
<b>3.3 The design of individualized artificial hip joint .....</b>	<b>23</b>
3.3.1 The design of individualized artificial hip joint handle .....	24
3.3.2 The design of the proximal acetabulum of individualized artificial hip joint.....	28
<b>3.4 The optimal design of individualized artificial hip joint .....</b>	<b>29</b>
3.4.1 The matching between the individualized artificial hip joint model and the specimen femur model .....	30
3.4.2 The optimization processing of individualized artificial hip joint model .....	30
<b>3.5 Summary.....</b>	<b>32</b>
<b>Chapter 4 CAD/CAM/Robotic integration grinding technology .....</b>	<b>33</b>
<b>4.1 Foreword.....</b>	<b>33</b>
<b>4.2 Belt grinding technology.....</b>	<b>33</b>
4.2.1 The components of the common belt grinding machine.....	33
4.2.2 The principle of the abrasive belt grinding .....	35
<b>4.3 CAD/CAM/Robotic integration technology .....</b>	<b>36</b>
4.3.1 Industrial robot off-line programming .....	36
4.3.2 Calibration technology based on force control .....	38
4.3.3 Belt Automatically adjusting deviation technology .....	42
<b>4.4 Summary.....</b>	<b>43</b>
<b>Chapter 5 CAD/CAM/Robotic integration technology grind the individualized artificial hip joint.....</b>	<b>44</b>
<b>5.1 Foreword.....</b>	<b>44</b>
<b>5.2 The comparison between robot grinding artificial hip joint and other processing methods .....</b>	<b>45</b>
5.2.1 Rapid prototyping technology and CNC machining technology .....	45
5.2.2 The comparison between robot grinding artificial hip joint and robot grinding medullary cavity .....	46
<b>5.3 The grinding process of individualized artificial hip joint.....</b>	<b>48</b>
5.3.1 The machining process of individualized artificial hip joint .....	49

5.3.2 The processing track planning and simulation of individualized artificial hip joint.....	49
<b>5.4 The grinding process and problem analysis of individualized artificial hip joint.....</b>	<b>51</b>
<b>5.5 Summary.....</b>	<b>53</b>
<b>Chapter 6 The matching experiment of individualized artificial hip joint and specimen femur .....</b>	<b>54</b>
<b>6.1 Foreword.....</b>	<b>54</b>
<b>6.2 The contour dimension data analysis of artificial hip joint .....</b>	<b>54</b>
6.2.1 The cross section measurement of artificial hip joint .....	55
6.2.2 The cross section data analysis of artificial hip joint.....	56
<b>6.3 The matching experiment of pig joint prosthesis and pig leg medullary cavity .....</b>	<b>61</b>
6.3.1 The X-ray images of pig leg joint handle matching and pig leg medullary cavity .....	62
6.3.2 The matching degree calculation of pig leg joint handle and pig leg medullary cavity.....	63
<b>6.4 The matching experiment of individualized artificial hip joint and specimen femur .....</b>	<b>67</b>
<b>6.5 Summary.....</b>	<b>69</b>
<b>Chapter 7 Summary and outlook.....</b>	<b>70</b>
7.1 Work summary of this paper .....	70
7.2 Work outlook.....	71
<b>References .....</b>	<b>72</b>
<b>Thanks.....</b>	<b>78</b>
<b>Paper published during a graduate.....</b>	<b>79</b>

## 第1章 绪论

### 1.1 引言

人类疾病引起的关节病变或意外事故造成的关节损坏，破坏了人体关节的正常功能，给患者的生活和工作带来极大不便。人工关节置换术是骨科关节疾病治疗领域的常规手术方法，能够改善患者的关节功能，提高患者的生活质量，使患者恢复正常的生活，为关节患者带来了希望。随着医学技术的进步，医疗保健开始受到人们的重视，人工关节的医疗需求也日益增多。

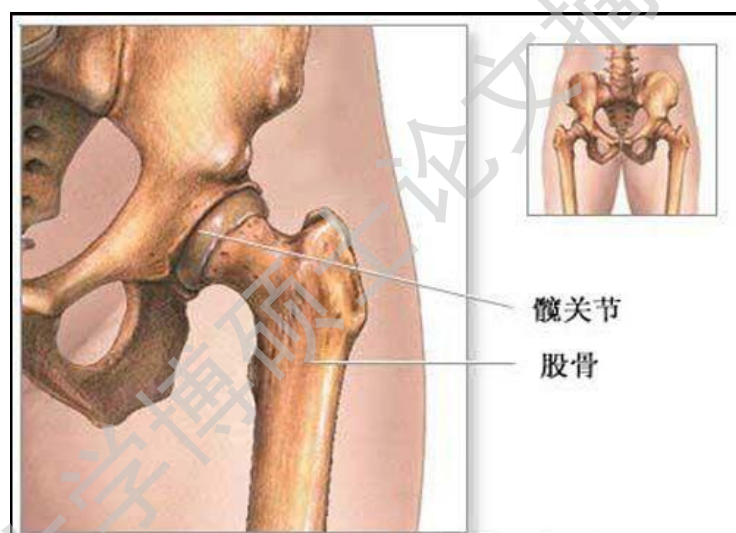


图 1.1 髋关节

髋关节（图 1.1）是人体最典型的杵臼关节，具有重要的运动功能和承载作用。当前，国内外每年接受人工髋关节置换手术的人数将近有一百万人次，这些患者通过人工髋关节置换手术重新恢复了行走能力。目前，我国人工髋关节置换手术应用的假体大部分是从国外进口，这些假体以欧美国家的人群关节为基准，和国人的髋关节不完全匹配。在大多数情况下，股骨髓腔的近髋臼端和假体之间的接触面积小，两者之间的间隙较大，负荷传递效果和应力分布情况较差，很难保证人工髋关节的长期稳定性和延长人工髋关节的有效使用寿命。医学临床上应用的人工髋关节多为标准化、系列化假体，然而在地域、民族和生长环境等方面，不同的病人之间存在较大的差异，因此，难以保证标准化、系列化假体与患者股

骨髓腔两者之间是否可以形成良好的匹配。即使假体表面设计成具有生物学固定作用的多孔表面，如果通过骨长入不能形成牢固的生物学固定，假体松动仍然会发生，尤其是对于先天畸形、髋关节严重受损等特殊患者，标准化、系列化的假体往往无法满足其特殊需求<sup>[1]</sup>。同时，随着髋关节假体翻修病例的增多，当翻修的假体周围出现大量骨缺失时，常规型号假体满足不了患者的特殊要求<sup>[2]</sup>。因此，根据患者髋关节生物力学特点和解剖结构设计并制造出与股骨髓腔相匹配的个性化人工髋关节，能够提高人工髋关节的长期稳定性，延长人工髋关节的有效使用寿命，满足不同患者的需求。

## 1.2 人工髋关节的发展史

人工髋关节通常由股骨柄假体、假体球头和髋臼假体组成，如图 1.2 所示。人工髋关节是根据人体髋关节的形态、构造以及功能进行设计并制成的仿人体髋关节假体。它将股骨柄假体插入股骨髓腔内，同时使假体球头与髋臼假体形成旋转，达到改善髋关节功能的目的，让患者的股骨实现曲伸和运动。

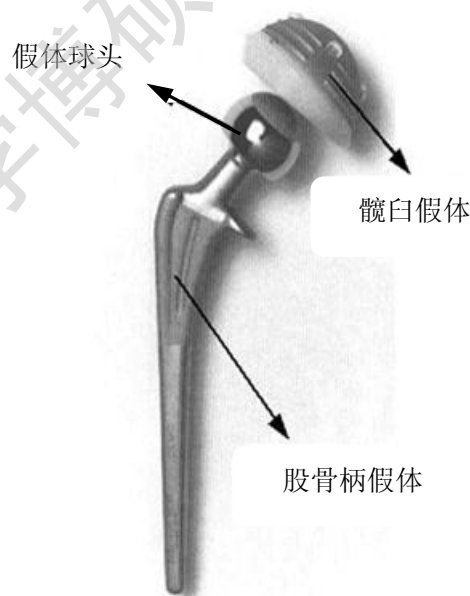


图 1.2 人工髋关节

### 1.2.1 髋关节假体的演变及设计

#### 一、初期探索阶段

19 世纪中叶，人工髋关节置换概念初见雏形，研究者对人工髋关节置换进

行了早期研究。19 世纪末，德国医生 **Themistocles Gluck** 通过实验证实了人体可以接受外来的植入物，后来 **Themistocles Gluck** 通过使用象牙制成髌臼假体和股骨头假体，并且使用骨胶作为粘合剂首次进行了全髋关节置换术<sup>[3]</sup>，这对骨水泥型人工髋关节置换术起到了启蒙作用。美国的 **Smith Pertersen**，德国 **Dether**，法国的 **Judet** 兄弟等也对人工髋关节置换进行了研究，但是一直没有突破性的进展。

### 二、中期发展阶段

1962 年，英国 **John Charnley** 医生提出了低摩擦人工髋关节置换理论，人工髋关节置换进入了新纪元<sup>[4]</sup>。**Charnley** 医生以动物为研究载体，开展了关于关节摩擦和润滑机制的实验研究，他认为生物关节面的特性与海绵相似，都是具有弹性、内含滑液，能够使关节保持较低的摩擦系数。假体关节面润滑的低摩擦效应是不能通过使用液润滑来实现的，因此，假体材料的选择应当首先考虑低摩擦系数特性。**Charnley** 医生采用耐磨的高分子聚乙烯制成髌臼假体和股骨头直径为 22.5mm 的不锈钢股骨假体，使用聚甲基丙烯酸甲酯（骨水泥型）进行固定，这三项革新奠定了低摩擦人工髋关节置换术的基础<sup>[5]</sup>。这种具有低摩擦效应的人工髋关节发生松动的概率较低，远期效果较好，使许多患者重新恢复了行走能力。由于 **Charnley** 在人工髋关节置换领域做出了重大贡献，促进医疗技术快速发展，因此，**Charnley** 医生被尊称为“人工关节之父”。

此后，为了增加髋关节活动范围和稳定性，瑞士骨科医生 **Maurice Muller** 采用股骨头直径为 32mm 的股骨柄假体，并逐渐加大股骨柄的弧度，这种股骨柄假体被称之为“香蕉柄”<sup>[6]</sup>。当前，医学临床上所用的股骨柄假体都是在上述两种假体的基础上进行改进的。

### 三、骨水泥型与非骨水泥型人工髋关节共同发展阶段

当前，在髋关节人工关节置换手术中，人工髋关节主要分为两大类：骨水泥型人工髋关节和非骨水泥型人工髋关节。骨水泥型人工髋关节要想获得良好的置换效果，骨水泥技术具有关键性的作用。自 20 世纪 60 年代开始，骨水泥技术在实践中不断改进，从早期手工操作到骨水泥枪技术的应用。在骨水泥枪出现之前，骨水泥的填充均采用手工操作，容易出现假体松动。随着骨水泥枪的问世，骨水泥固定技术不断提高，术后效果明显改善，假体松动率明显降低。根据文献[7]

报告, 手工操作填充骨水泥, 10 年随访假体松动率高达 30%, 而采用骨水泥枪填充骨水泥, 14 年随访假体松动率仅为 7%。

随着骨水泥型人工髋关节应用的增多, 假体微动、骨水泥老化等并发症逐渐掣肘骨水泥型人工髋关节的发展, 非骨水泥型人工髋关节开始受到研究人员的重视。随着 70 年代微孔制作技术的发明, 非骨水泥型人工髋关节表面开始采用微孔设计, 使骨长入表面微孔, 获得可靠的初始固定, 防止假体松动。通常来说, 65~70 岁以上的老年患者, 尤其是女性患者, 骨质疏松较严重, 骨质条件较差。同时, 老年人运动量较少, 人工髋关节的磨损也较轻, 需要进行翻修的病例也较少, 因此适合选用骨水泥型人工髋关节。对于中青年病人, 其骨质条件比较好、运动量较大, 需要翻修的病例较多, 因此采用非骨水泥型人工髋关节翻修的时候也会相对容易一些。

### 1.2.2 人工髋关节置换术存在的问题

目前, 人工髋关节置换术 10 年以上的临床优良率已超过 90%<sup>[8]</sup>。根据医学临床观察, 骨水泥有利于假体植入的初始固定, 具有早期锚固的良好作用, 因此采用骨水泥型假体其早中期的翻修率和失败率较低, 但后期松动率较高。随着骨水泥技术的进步, 远端塞、中置器、真空搅拌、骨水泥枪的应用, 使骨水泥型假体更加可靠, 至今仍为很多医生的首选。非骨水泥的生物型人工髋关节, 其多孔表面固定主要依靠骨小梁网状交错生长来固定人工髋关节假体, 以减少界面松动和失败, 但由于存在应力遮蔽, 仍存在一定的失败率, 假体松动仍然无法克服。目前, 常用于假体的材料仍然以金属(钛合金和钴铬钼合金)、超高分子量聚乙烯和聚甲基丙烯酸甲酯为主<sup>[9]</sup>, 对于新材料, 如生物陶瓷和复合材料, 有待进一步大量的研究和探索。

我国人工髋关节置换术经过 30 多年的发展, 积累了大量的经验, 技术水平已逐渐接近国外先进水平, 人工髋关节置换手术成功率得到极大提高, 假体远期使用效果也在不断改善。针对特殊患者, 如骨骼先天性畸形、骨骼病变造成的关节损坏等, 国内外也开展了髋关节假体定制的研究, 以满足患者的特殊需求。但是由于定制加工周期较长, 有时甚至需要配套的特殊手术器械, 成本较高, 价格昂贵, 使其推广受到了一定的限制。



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库