

摘要

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学 号: 200340013

UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

眼角膜三维模型构建及其基于有限元的生物力学分析

3D Model Construction of Cornea and its Biomechanical Analysis by Finite Element Method

唐 聪 恺

摘要

指导教师姓名: 王博亮 教授

专业名称: 计算机应用技术

论文提交日期: 2006 年 5 月

厦门大学学位论文

论文答辩时间: 2006 年 6 月

学位授予日期: 2006 年 月

的学位论文 人 导 师 答 辩 委 员 会 主 席: 的 _____

人 论 文 的 其 人 评 的 阅 人: _____

人 有 论 文 生 的

2006 年 5 月

眼角膜三维模型构建及其基于有限元的生物力学分析

唐聪恺

指导教师

王博亮教授

厦门大学

厦门大学学位论文著作 明

人 厦门大学有 学位论文的 厦大
 学有 主 门 其 指 构 论文的
 有 学位论文 于 的的 论文
 学校 阅 有 学位论文的 编 有
 有 学位论文的 摘要 编 密的学位论文 密

学位论文 于

1 密 年 密 授
 摘要

2 密

摘要

的建模 的 眼 人
 密 分：要的 其建模 的： 年 分 月 要的 角膜
 人眼的导师要：分 角膜的 于眼 的 年 有月 要的 要
 建 模 人眼的 眼 眼角膜
 模 建 分析角膜三维物 模型 于 眼 的
 有 要
 文 力于 人 型角膜 ANSYS 模 角膜的
 三维物 构 建 的角膜三维模型的基 其 眼 模
 三维模型的基 维 模型 其 模
 文的 有：
 1 人的眼角膜 型 APDL 有限元 ANSYS

ABSTRACT

The construction of virtual organ is one of the frontier research areas. As one of the most important and tiny organs of human, eye should be modeled and simulated factitiously. Cornea---as one of the most important part of eye---whose characteristics are of great significance to diagnosis and cure of eyes' diseases. In order to constitute the visualization model of the virtual human eyes, cornea should be correctly constituted and modeled. So modeling and analyzing cornea were key steps to the application of the visualization model of the virtual human eyes.

According to the typical date of Chinese human eyes, this thesis firstly reconstructed a 3D construction of cornea in ANSYS platform. Based on this 3D construction, this thesis secondly simulated the effect of the increasement of inner pressure happen on the 3D construction of cornea. Thirdly, distilled from the 3D construction, the 2D modeling of cornea was used to be analyzed. The thesis modeled the cornea's cooling process in cooling equipment.

Followings are innovations of this thesis:

目 录

1	According to the typical data of Chinese cornea, modeling the 3D construction cornea in APDL on ANSYS platform.....	1
	第一章 绪论	
2	Using the typical data of Chinese cornea, modeling the 3D construction cornea, this thesis simulated the eye inner pressure increasing model. And calculate the situation of the stress of cornea.....	3
	1.1 本课题的背景	1
	1.2 国内外研究的现状	3
	1.3 本课题的意义	4
3	According to the 3D construction, the thesis distilled the 2D modeling of cornea, and based on the 2D model, the thesis simulate the cornea's cooling process in cooling equipment. And finally calculated the best position of the cornea during the cooling process in cooling equipment.....	5
	1.4 本课题的研究工作和创新之处	5
	1.4.1 文的主要	5
	1.4.2 文的结构	6
	1.4.3 文的	6
	第二章 角膜的生理特点	7
	2.1 眼睛的结构	7
	2.2 角膜的解剖和生理	7
	第三章 角膜基本三维模型的构建	10

5.1 热力场模型背景知识介绍	34
5.2 眼角膜热力场数学模型和边界条件设定	35
5.2.1 眼角膜导热的	35
5.2.2 角膜力学模型有限元分析	39
5.3 热力场分析模型的建立及计算结果	44
5.3.1 力学分析模型	44
5.3.2 模型的建	45
5.3.3 角膜的 ANSYS 分析	47
5.4 本章小结	52
结束语	54
参考文献	56
致 谢	59

[Contents](#)

[Contents](#)

Chapter1 Exordium	1
1.1 Status and of Project	1
1.2 Domestic and foreign Status	3
1.3 Signification of Project	4
1.4 Innovations	5
1.4.1 Research	5
1.4.2 Innovations	5
1.4.3 Frame of this Thesis	6
Chapter2 Physical features of eye	7
2.1 Constrction of eye	7
2.2 Physiology and anatomy of eye	7
Chapter3 Modeling of cornea	10

<u>cornea</u>	35
<u>5.2.1 Acquirement of Boundary conditions of cornea</u>	35
<u>5.2.2 FEM anlyse of Thermofield Model of cornea</u>	39
<u>5.3 Build of Thermofield Model of cornea using by FEM</u>	44
<u>5.3.1 Thermofield Model of cornea</u>	44
<u>5.3.2 Build of temperature field</u>	45
<u>5.3.3 Analyse of Loaded cornea</u>	47
<u>5.4 Summary of this Chapter</u>	52
<u>Summary</u>	54
<u>Reference</u>	56
<u>Acknowledgement</u>	59

论

第一章 绪论

1.1 本课题的背景

的 的 角
其 的
于 生 的
角 人类文 的 人类文 建
的基
人类基 的 学生物学 于 主要 的
基 构 的三维 构 及 的 于
人 的 学 人
的 构 的 人 的 模
学生物学及其人 学 的 的 [1] 20 物
的 21 生物 人 学 的 学

的人 三维模型 学 及 学 的 基
 人 于 2003 年 2 月 18 大学构建
 人 有 位
 人 于 人类 的 学的 有 要的 学
 人 构 建 的 学模
 型 于 的 分析 模
 的 的 的 模 人
 的 人 模型 有 的 : 学 教学
 的模型 的 的
 大大 学教 的
 人 的 的建模 的
 人 眼 要的 人有 80
 的 眼 眼的 于人 的生
 要的 于眼 构 分 密 导 眼 的
 类 大 分 会 会 的 生
 构 于眼 教学 论 的 人眼 有

的 会
 学 文 的 的 眼 构 物 的 的建模 函 构 有
 人 的 眼 的 学 厦 门 大 学 的 学 王 博 亮 教 授 本 学 的
 的 人 眼 模型^[3] 模 建模 的 物 分 于 模 建
 人 眼 大 的 大 大 学 的 模 模型^[4] 模 眼的 眼
 及其 要 建 眼 的 构 三 物 模型 物 模型 眼 三 维 模 型 的 基
 其 力 力 学 的 主要 的 于 模 的
 角膜 的 有 大 学 的 模型^[5] 角膜 的 三 维 建
 角膜 的 模 物 力 学 分 析 及 其 角 膜 的 力 学 分 析 的 有 限 元 模 型^[6] 指
 导 的 建 物 模 型 的 维 模 型 的 授 的
 论 的^[7,8,9] 学 的 的 建模 主要 物 的

1.2 国内外研究的现状 模 的 生 模型 的
 大 的 的 大 学 教 授 力 于 生 物
 及 的 的 的 建模 有
 限 元 生 物 力 学 建 模 的 [9,10,11,12,13]

及模 及 教学 有
 要 学 三维 建的 有 要的学
 于生物力学的 学的 有 学 力于角
 膜力学 的 角膜生物力学 的 人 的
 其 于 角膜 角膜 的 人 角膜的
 眼的 力 有 要的
 角膜 的 大 要 及角膜的 角膜
 的 论

角膜 的 的 会
 生 物 学 的 其
 分 于 的 角膜的 分
 角膜 20°C
 的 于 的
 130°C 的 的

[16] 的 Sharon S.Heimansohn, David Dankert
 and Aydin Ungan 有 论 [17] 文 论 眼角膜的 模
 型 角膜的 力学 论 论 角膜 模型的主要 于有

4 本课题的研究工作和创新之处

4.1 本课题研究工作 模 角膜 的 的
 论 的 厦门大学 学 王博亮教授主 的 人 眼

4.2 本文主要创新点: 的 分 建 人 眼
 的主要有 :

- 1 角膜三维模型的建 要 分 角膜的力学
 的 眼角膜的三维模型建 角膜的力学 门的 文 角膜的力学
 角 的基角膜的 角膜 于建 角膜的力学模型 论的
 角 APD 角膜的 学模型 生 学模型 生的角膜的 模型
 角膜模型分析 及其 的 其 眼 模型
 有限元 ANSYS 分析 分析 论 眼角膜的 力
- 2 角膜的眼 模型
 的 的有限元分析的 论基 建 的三维

角膜 的

1.4.3 本文的组织结构:

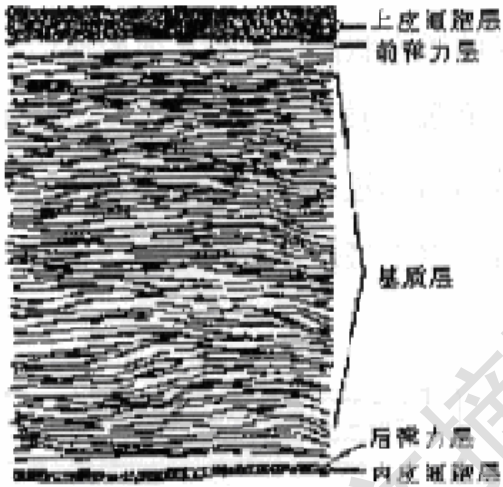
: 的
 : 眼 及其角膜的生 物
 三 : 角膜的 学模型 学模型建 眼角膜的三维模型
 : 于建 的 学模型 有限元 论 眼角膜 论分析
 建 眼 建 模型 模 角膜的 力模型 模型 分析
 眼 的人 RK 的 论
 : 角膜 维 模 角膜的 模型 模型
 分析的基 角膜 模型 的 的有
 位

角膜的生

第二章 角膜的生理特点

2.1 眼睛的结构

人的眼 位于眼 年人其 24mm
 23mm 于 12--14mm 眼 眼 眼
 眼 物
 眼 主要分 三 角膜 膜
 膜 膜 有 的 膜 有 膜三 分
 膜 的膜 的 的 有
 的 构及 的 生
 眼 眼 物 三
 角膜
 及眼 眼 眼 膜 眼
 眼



2 2 角膜的 构

学 角膜 分 5 力膜 基

力膜 2-2 (Epithelial) 5--7

有 50--90 分 :

基 膜 基 膜的 膜-- 力膜

10--16 维 构及 力膜的 维

角膜 分 的 物 角膜的生 生 基 (stroma)

分 构 角膜的主要 分 角膜 的 90% 的密

维的角膜 及 物 力 (Descemet membrane)位于角

膜基 分 生的 膜 HE

学 的 力 生

endothelium layer)位于角膜的 的 角

角膜的 35 密 3015 /

年 1272 4003--1547 /

密 于 400 / 角膜 密

生 的 其 大

的 力膜^[19]

角膜的 有主 基

的分 维 角膜的 要的

生 角膜 基 的分

第三章 角膜基本三维模型的构建

3.1 角膜三维模型构建的理论基础

角膜 有 的 的 论 有
 的 学模型 有 的 有 的 学模型 物
 的 学 物 的 模型 模型 要 物 分
 析 的 的
 的 类物 分析 的 要 其建 学
 模型

Von Helmholtz, Mandell [20,21] 论文 角膜
 模型 人类角膜 的 的
 人的眼角膜 Gatinel [22]
 人(大 20%)的角膜 的 论的 有的 物
 有的 Gatinel 分析 人角膜 的 分
 的角膜 类 分析 其分 的 人
 的 的角膜 的 的 Gatinel 的分析
 的角膜 三 角膜基 三维模型的 建 的

有角膜 : $\frac{x^2}{7.814^2} + \frac{y^2}{7.736^2} + \frac{(z-7.982)^2}{7.982^2} = 1$ 限于 的
 角膜 有 Patel [23] $\frac{x^2}{6.826^2} + \frac{y^2}{6.735^2} + \frac{(z-6.916)^2}{5.16^2} = 1$ 分析

3.2 在ANSYS下角膜模型三维构建

角膜的角膜 学模型角膜
 3.2.1 ANSYS 软件的介绍
 学模型分 : 分 大的有限元分析 及 分
 ANSYS 析 角膜 : $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{(z-c)^2}{c^2} = 1$ (a, b, c > 0) 大型 FEA
 角膜 构 : $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{(z-c+d_0)^2}{c^2} = 1$ (a, b, c > 0) 文
 其 大的 分 及 三 的 d_0 有角膜
 :

(1) 的
 ANSYS 大的 的人 眼角膜 分 的 学模型分
 模型: 门 有 的 大型 有限元 的
 MSC NSSTRAN ALGOR ABAQUS10 有限元模

UIDL 及 编 UPFs 其 APDL ANSYS Parametric Design
 Language 类 于 Fortran77 的 其
 建 模型
 的 UIDL User Interface Design Language ANSYS
 门 的 ANSYS 的 (GUI)
 的 人 ANSYS
 的 有力 UPFs(User Programmable Features)
 Fortran77 的 分 ANSYS 的
 ANSYS 的
 的 的 元 的
 编 的 ANSYS 的
 [24,25,26]
 于 年 ANSYS 建 学
 的 大 限于 ANSYS 分
 析 ANSYS 的 有限元 及 文
 ANSYS 的 VC++6.0 APDL
 三 角膜基 三维模型的 建

ANSYS
 APDL ANSYS Parametric Design Language 的有 建 ANSYS 的分析
 其 的 类 FORTRAN 的 的
 APDL 及 有限元分析 的 力及 ANSYS 有限元
 分析 及 级的 分析 力

3.2.2 角膜在APDL下模型的建立

ANSYS 有限元分析
 于 建模 的角膜 其 发 的 的 角膜有
 5 构 有限元分析的基础 90% ANSYS 的 分辨的 基
 的分析 维 其 角膜 的分析角膜的
 大 眼 力的 60% 的力学 大建 角膜模型 分析眼的
 力 有 APDL 要的基 有限元分析 编
 的 角膜的 其 人角膜的基 建
 模 分 [27]:

构建 :

$$\text{角膜} : \frac{x^2}{7.814^2} + \frac{y^2}{7.736^2} + \frac{(z-7.982)^2}{7.982^2} = 1$$

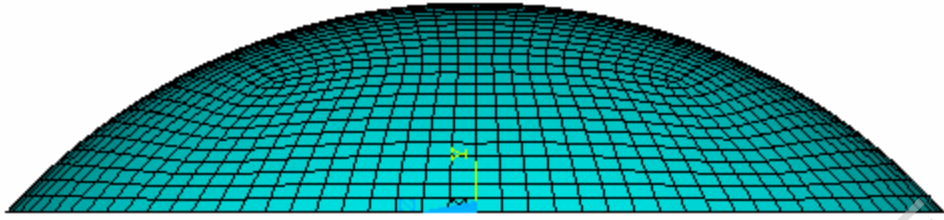
$$\text{角膜} : \frac{x^2}{6.826^2} + \frac{y^2}{6.735^2} + \frac{(z-6.916)^2}{7.516^2} = 1$$

APDL 的角膜模型生 :

```

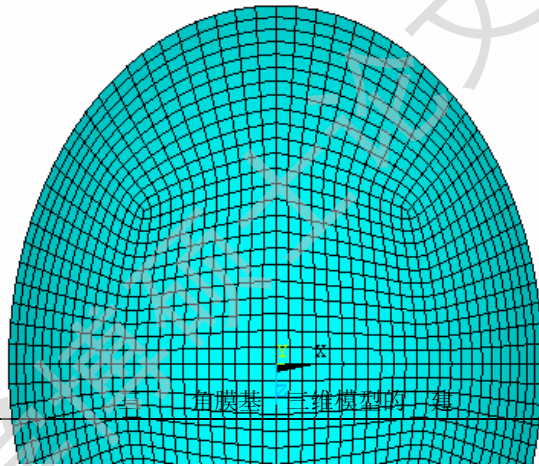
K,4,,a4
/BATCH
K,5,,a5
a=0.6
K,6,,a6
b=7.814
k,7
c=5.8138
k,8,10
d=6.826
l,7,8
t=sqrt(b*b-c*c)+a+d-b
circle,1,r1,,,90
q=b-d-a
circle,2,r2,,,90
a1=-t
circle,3,r3,,,90
r1=d
circle,4,r4,,,90
a2=-(t+q*0.03333)
circle,5,r5,,,90
r2=d+0.03333*(b-d)
circle,6,r6,,,90
a3=-(t+q*0.05)
k,7
l,25,26
r3=d+0.05*(b-d)
k,8,10
a4=(t+q*0.9)
k,8,10
l,7,8
l,10,12
r4=d+0.9*(b-d)
l,7,8
l,12,14
a5=-(t+q*0.9167)
k,7
l,14,16
r5=d+0.9167*(b-d)
k,8,10
l,16,18
a6=(t+q)
k,8,10
l,7,8
l,18,20
r6=b
l,7,8
l,1,7,8
l,12,14
al,1,6,9,10
/PREP7
k,7
al,2,7,10,11
l,22,23
k,1,a1
al,2,7,10,11
l,22,23
k,2,,a2
al,4,15,12,13
k,3,,a3
l,21,,22
al,3,8,11,12
l,22,23
al,4,15,12,13
l,22,23
al,5,1,16,13,14

```

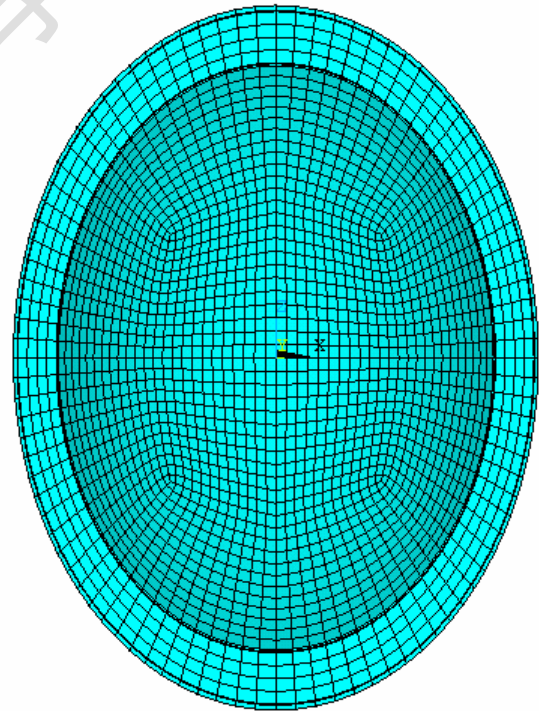


3 2 模型 0 的

XOY Z 的 :



角膜基 三维模型的 建



XOY

3 4 模型 的

第四章 角膜的压力模型和有限元方法介绍

4.1 压力模型介绍

眼的角膜的力学模型分析有要文有限元分析角膜的论基力学

有限元分析 Finite Element method, FE

Virtual test 基于的大分析型的有限元分析的力学基力学的

有限元分析

有限元分析

的其基力学力学的有限元

Displacement :
 Young's modulus :
 $Stress = Load / Cross\ sectional\ area$ 力位 N/m^2 位 Pa Pa/mmHg
 $Young's\ modulus = Stress / Strain$
 $Strain = Change\ in\ length / Original\ length$ 分
 mmHg 1mmHg = 133.322Pa
 Poisson's ratio = Lateral strain / Longitudinal strain
 equilibrium equation 的其的 0 0.5 Strain-displacement relationship (Compressibility) 的物大 力 的 Stress-strain relationship or constitutive equation

4.2 压力模型理论基础

有限元的主要的基

物物的 Continuity 物物的物分析 Homogeneity
 元物物的力学的角膜的学模型分析 Isotropy Linear
 分析物的构分的 :
 elasticity Small deformation
 1 构的
 2 的位基物 : 模 模
 3 元的建

的 6 分 位 的

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \begin{bmatrix} \varepsilon_s \\ \varepsilon_\theta \\ \gamma_{s\theta} \\ \kappa_s \\ \kappa_\theta \\ \kappa_{s\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial u}{\partial s} + \frac{\omega}{R_s} \\ \frac{1}{r} \left(\frac{\partial v}{\partial \theta} + u \sin \phi \right) \\ \frac{\partial v}{\partial s} + \frac{1}{r} \left(\frac{\partial u}{\partial \theta} - v \sin \phi \right) \\ - \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{\partial \omega}{\partial s} - \frac{u}{R_s} \right) \\ - \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \omega}{\partial \theta^2} + \frac{\cos \phi}{r^2} \frac{\partial v}{\partial \theta} - \frac{\sin \phi}{r} \left(\frac{\partial \omega}{\partial s} - \frac{u}{R_s} \right) \\ 2 \left(- \frac{1}{r} \frac{\partial^2 \omega}{\partial s \partial \theta} + \frac{\sin \phi}{r^2} \frac{\partial \omega}{\partial \theta} + \frac{\cos \phi}{r} \frac{\partial v}{\partial s} - \frac{\sin \phi \cos \phi}{r^2} v + \frac{1}{r R_s} \frac{\partial u}{\partial \theta} \right) \end{bmatrix} \quad 4.2.1$$

其 ϕ s 的 的 角 R_s 的 r
 的 的 ε_s ε_θ $\gamma_{s\theta}$ 的
 κ_s κ_θ $\kappa_{s\theta}$ 的

的 6 角膜的力模型 有限元 的

$$\boldsymbol{\varepsilon}_s^{(z)} = \varepsilon_s + z \kappa_s \quad \boldsymbol{\varepsilon}_\theta^{(z)} = \varepsilon_\theta + z \kappa_\theta \quad \boldsymbol{\gamma}_{s\theta}^{(z)} = \gamma_{s\theta} + z \kappa_{s\theta} \quad 4.2.2$$

$$z \quad \tau_{s\theta} = \frac{N_{s\theta}}{t} + \frac{12M_{s\theta}}{t^3} z$$

其 t 论 的 6 分 的 6 力 力 分
 力分 分 的

$$\boldsymbol{\sigma} = [N_s \quad 1N_\theta \quad v N_{s\theta} \quad 0 \quad M_s \quad 0 \quad M_\theta \quad 0 \quad M_{s\theta}]^T \quad 4.2.3$$

$$\begin{bmatrix} N_s \\ N_\theta \\ M_s \\ M_\theta \\ M_{s\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{12} & \frac{1-v}{2} & 0 & 0 \\ \frac{Et}{1-v^2} & 0 & 0 & \frac{t^2}{12} & \frac{t^2 v}{12} \\ 0 & 0 & 0 & \frac{t^2}{12} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{t^2}{12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_s \\ \varepsilon_\theta \\ \gamma_{s\theta} \\ \kappa_s \\ \kappa_\theta \\ \kappa_{s\theta} \end{bmatrix} \quad 4.2.5$$

$$\boldsymbol{\sigma} = \frac{N_s}{t} + \frac{12M_s}{t^3} z \quad 0 \quad 0 \quad v \quad \frac{t^2(1-v)}{24}$$

其 E ν $\sigma = \frac{N_\theta}{t} + \frac{12M_\theta}{t^3} z$ 有 : $(4.2.4)$
 $\sigma = D \boldsymbol{\varepsilon} \quad 4.2.6$

$$\boldsymbol{\sigma}^{(m)} = D^{(m)} \boldsymbol{\varepsilon}^{(m)} \quad 20 \quad \boldsymbol{\sigma}^{(b)} = D^{(b)} \boldsymbol{\varepsilon}^{(b)}$$

$$U = \frac{1}{2} \int_{\Omega} (\boldsymbol{\varepsilon}^{(m)})^T \mathbf{D}^{(m)} \boldsymbol{\varepsilon}^{(m)} d\Omega + \frac{1}{2} \int_{\Omega} (\boldsymbol{\varepsilon}^{(b)})^T \mathbf{D}^{(b)} \boldsymbol{\varepsilon}^{(b)} d\Omega$$

的 分 膜 分

的

$$\Pi_p = U - W \tag{4.2.10}$$

其 -W 力的

的 及 的 的 的

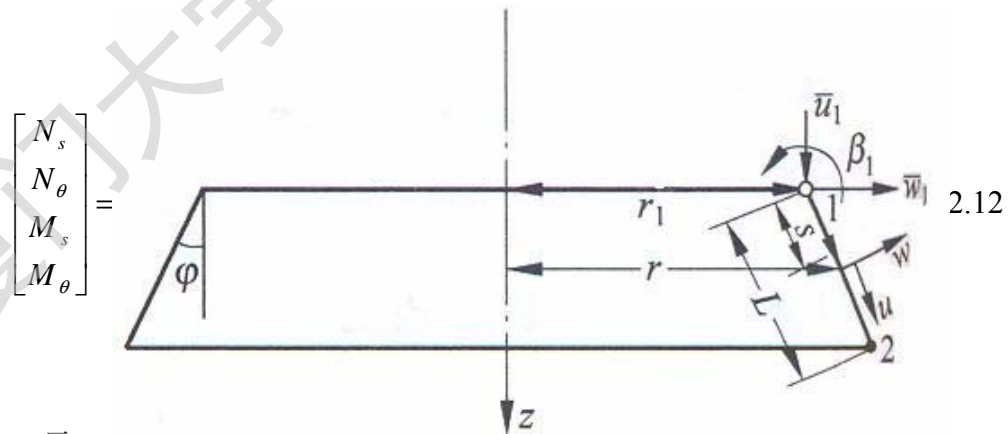
位 的 位 分 $v \equiv 0$ 位 分 u

ϖ s 的 分 $\gamma_{s\theta}$ $\kappa_{s\theta}$ 力分 $N_{s\theta}$ $M_{s\theta}$

4.2.1 4.2.5

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \begin{bmatrix} \varepsilon_s \\ \varepsilon_\theta \\ \kappa_s \\ \kappa_\theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{du}{ds} + \frac{\varpi}{R_s} \\ \frac{1}{r} (u \sin \phi + \varpi \cos \phi) \\ -\frac{d}{ds} \left(\frac{d\varpi}{ds} - \frac{u}{R_s} \right) \\ -\frac{\sin \phi}{r} \left(\frac{d\varpi}{ds} - \frac{u}{R_s} \right) \end{bmatrix} \tag{4.2.11}$$

角膜的力模型 有限元



$$\begin{bmatrix} N_s \\ N_\theta \\ M_s \\ M_\theta \end{bmatrix} =$$

元

4-2 元

的 分 元有 的位

$$a_i = [\bar{u}_i \quad \bar{\omega}_i \quad \beta_i]^T \quad i=1,2 \tag{4.2.13}$$

其 $\bar{u}_i \quad \bar{\omega}_i$ 的 位 位 分 β 的

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 for delivery details.

廈門大學博碩士論文摘要庫