

北京師範大學

博士学位论文

论文题目：黄河流域人-水关系演变过程及机制研究

作者：宋爽

导师：傅伯杰 教授

Prof. Bojie Fu

系别年级：地理科学学部 2018 级

学号：201831051016

学科专业：自然地理学

完成日期：2023 年 1 月

北京师范大学研究生院

北京师范大学学位论文原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名：

日期： 年 月 日

学位论文使用授权书

学位论文作者完全了解北京师范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北京师范大学。学校有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许学位论文被查阅和借阅；学校可以公布学位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、汇编学位论文。保密的学位论文在解密后适用于本授权书。

本人签名： _____

日期： _____

导师签名： _____

日期： _____

黄河流域人-水关系演变过程及机制研究

摘 要

论文的摘要是对论文研究内容和成果的高度概括。摘要应对论文所研究的问题及其研究目的进行描述，对研究方法和过程进行简单介绍，对研究成果和所得结论进行概括。摘要应具有独立性和自明性，其内容应包含与论文全文同等量的主要信息。使读者即使不阅读全文，通过摘要就能了解论文的总体内容和主要成果。

论文摘要的书写应力求精确、简明。切忌写成对论文书写内容进行提要的形式，尤其要避免“第 1 章……；第 2 章……；……”这种或类似的陈述方式。

本文介绍北京师范大学论文模板 BNUThesis 的使用方法。本模板是在清华大学学位论文模板 THUThesis 的基础上修改而来，尽可能满足我校的硕士、博士论文格式要求。

本文的创新点主要有：

- 用例子来解释模板的使用方法；
- 用废话来填充无关紧要的部分；
- 一边学习摸索一边编写新代码。

关键词是为了文献标引工作、用以表示全文主要内容信息的单词或术语。关键词不超过 5 个，每个关键词中间用分号分隔。（模板作者注：关键词分隔符不用考虑，模板会自动处理。英文关键词同理。）

关键词： $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ ， $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ ，CJK，模板，论文

An Introduction to L^AT_EX Thesis Template of Beijing Normal University

ABSTRACT

An abstract of a dissertation is a summary and extraction of research work and contributions. Included in an abstract should be description of research topic and research objective, brief introduction to methodology and research process, and summarization of conclusion and contributions of the research. An abstract should be characterized by independence and clarity and carry identical information with the dissertation. It should be such that the general idea and major contributions of the dissertation are conveyed without reading the dissertation.

An abstract should be concise and to the point. It is a misunderstanding to make an abstract an outline of the dissertation and words “the first chapter”, “the second chapter” and the like should be avoided in the abstract.

Key words are terms used in a dissertation for indexing, reflecting core information of the dissertation. An abstract may contain a maximum of 5 key words, with semi-colons used in between to separate one another.

KEY WORDS: T_EX, L^AT_EX, CJK, template, thesis

目 录

摘 要	I
ABSTRACT	II
插图索引	VI
表格索引	VII
第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景与意义	1
1.1.1 人地关系研究：地理学研究的基本命题	1
1.1.2 人水关系演变：人地耦合系统的监测器	1
1.1.3 人水关系重塑：黄河高质量发展之核心	1
1.2 研究进展	1
1.2.1 社会-水文研究与互馈机制	1
1.2.2 人水关系与社会-生态系统	1
1.2.3 社会-生态系统的稳态转换	1
1.2.4 人水关系的机制模型	1
1.2.5 黄河的人水关系研究	1
1.3 研究目标与内容及关键科学问题	1
1.3.1 研究目标	1
1.3.2 研究内容	1
1.3.3 关键科学问题	1
1.4 研究区概况	1
1.4.1 黄河流域概况	1
1.4.2 黄河流域治理史	1
1.5 章节安排	1
第 2 章 人水关系变化分析的理论框架	2
2.1 流域系统人水关系的定义	2
2.2 流域人水关系变化识别框架	2
2.3 小结	2

第3章 千年尺度的黄河流域人水关系演变	3
3.1 研究方法与数据来源	4
3.1.1 研究设计	4
3.1.2 数据来源	5
3.1.3 稳态转换识别框架	5
3.2 黄河水沙的稳态转换	7
3.3 黄河历史水沙变化的驱动因素	7
3.4 历史洪水的集体记忆模型改进	7
3.5 历史洪水的集体响应	7
3.6 小结	7
参考文献	8
学术成果	9
致谢	10

Contents

摘 要	I
ABSTRACT	II
插图索引	VI
表格索引	VII
Chapter 1 绪论	1
Chapter 2 人水关系变化分析的理论框架	2
Chapter 3 千年尺度的黄河流域人水关系演变	3
参考文献	8
学术成果	9
致谢	10

插图索引

图 1	黄河流域千年尺度人-水关系变化的关键研究问题	4
图 2	黄河历史时期稳态转换识别的框架。	5
图 3	历史稳态转换的影响因子示意图。沉积 (A-C); 决溢 (D-F); 河流	7

表格索引

表 1 千年尺度黄河稳态转换识别的数据来源 6

第 1 章 绪论

1.1 研究背景与意义

1.1.1 人地关系研究：地理学研究的基本命题

1.1.2 人水关系演变：人地耦合系统的监测器

1.1.3 人水关系重塑：黄河高质量发展之核心

1.2 研究进展

1.2.1 社会-水文研究与互馈机制

1.2.2 人水关系与社会-生态系统

1.2.3 社会-生态系统的稳态转换

1.2.4 人水关系的机制模型

1.2.5 黄河的人水关系研究

1.3 研究目标与内容及关键科学问题

1.3.1 研究目标

1.3.2 研究内容

1.3.3 关键科学问题

1.4 研究区概况

1.4.1 黄河流域概况

1.4.2 黄河流域治理史

1.5 章节安排

第 2 章 人水关系变化分析的理论框架

人地关系是地理学重要的传统研究议题 [[@zhang2022c]], 是地理学的学科基石。但地球表层的几乎一切过程都已受到了人类活动的影响或干预, 因此人地关系研究也可以说是无所不包的。水是与人类活动联系最紧密的地球表层要素之一, 从乡村到城市, 从干旱到洪涝, 从个人到集体, 一切有意或无意影响、改造了天然水循环的人类活动都与水关系紧密相连 [[@falkenmark2021]]。但是, 并非所有的人水关系变化都会对流域尺度的可持续、高质量发展产生影响, 若没有对基本定义、研究范围、分析框架等加以明确, 人水关系演变研究便极易陷入笼统或琐碎, 缺乏对流域系统整体的指导意义。

流域研究是完整地理单元构造的地域系统, 人水关系是该人地关系地域系统内最重要的人与环境相互作用, 其演变过程与机制在不同时空尺度上呈现出迥然不同的特征 [[@wang2019d]]。同时, 作为典型的社会-生态系统, 流域是复杂适应系统 [[@huggins2022]], 有着非线性、动态性等特点, 其整体特征应从系统论加以理解 [[@reyers2018]]。本章研究从基础概念和基本问题切入, 逐层深入人地关系地域系统与流域人水关系研究的理论问题, 总结提出“人水关系的分析框架”, 挈领哪些黄河流域的人-水关系将是本论文研究的分析重点, 以及哪些系统动态是重塑黄河人水关系需要关注的重要信号。本章试图解决的关键理论问题有两个: 1) 对于特定的地域人地系统(本研究中为黄河流域), 如何在无限的关系实体之上定义系统层面的人-水关系; 2) 对于特定的时间尺度, 如何识别和分析系统层面的人-水关系变化。简单来说, 如何使黄河流域人-水关系的分析从微观到宏观, 从静态到动态。

2.1 流域系统人水关系的定义

2.2 流域人水关系变化识别框架

2.3 小结

第 3 章 千年尺度的黄河流域人水关系演变

历览长河，“黄河”除了留下气势磅礴的诗文，也留下了多灾多难的记载。面对善决善淤、泛滥无度的黄河，治水是历代中央王朝主导下，黄河人水关系的主旋律，更有甚者认为中华文明就是黄河的治理史。前人对“黄河人水关系”的研究已总结了历代几个重要的治水思想先后是：堵、疏导、分流、束水攻沙、水土保持等。但对于为什么在千年尺度上，黄河人-水关系始终维持这种模式，尚缺乏流域系统的层面的理解。

黄河频繁决溢的主要症结是丰富的泥沙引起的下游沉积。作为世界上泥沙曾经最丰富的河流，其经历了两次大规模的泥沙稳态变化^[1,2]。黄河泥沙的峰值在 1960s，随后由于现代化的大规模人为治理，短短半个世纪便降低至 $0.1 \sim 0.2Gt/$ 。这个数字恰好与大约 2000 年前，黄河的泥沙含量相对较低时期相接近^[3]。但在千年尺度上，气候的变化和不断积累的人类活动双重作用对黄河由低输沙转化为高输沙状态的变化均有贡献，梳理其稳态转换何时、因何原因主导而发生，是理解人-水关系长时间尺度变化的重要基础。

黄河的频繁泛滥对中央王朝的治理带来严峻挑战，也积累有关黄河成灾的“集体记忆”。史书累牒的黄泛之殇，是新中国成立伊始毛主席感慨“把黄河的事情办好”的动力，也可能是黄河人-水关系长期维持“洪水-响应”模式的内在机理。这种有关长时间尺度的洪水灾害模型中，集体记忆已被认为是影响社会响应方式的核心变量之一^[4-6]。因此，在识别稳态转换的基础上，使用集体记忆模型在气候周期波动变化下，预测人类社会对洪水的响应模式，是解释黄河长时间尺度上人-水关系演变的关键。

过去、现在、未来的黄河有着不同的人水关系，研究昨日之黄河有助于理解今日之黄河，回望人水关系的长时间尺度变化有助于在决策时看得更远。本章的研究首先从稳态转换的视角梳理了黄河从低输沙到高输沙的演变过程，从而区分周期性的气候驱动与不断积累的人为因素，继而利用洪水记忆模型解释了人类活动未突破稳态临界点之前，气候灾害的周期及集体记忆变化，是黄河人水关系在千年尺度上维持中央政府主导“洪水-响应”模式的内在机制。

3.1 研究方法与数据来源

3.1.1 研究设计

在千年尺度上识别黄河人-水关系的稳态转换，与寻找“人类世”的起点有异曲同工之妙——流域系统当前的水循环模式由人类影响所主导几乎已是公认的，这意味着人水关系稳态与曾经原始状态的稳态是不同的。因此，本章研究重点有两个（图1）：

（1）识别随着人类活动影响的不断增强，黄河流域在历史时期内的典型稳态转换发生于何时；稳态转换的发生以“不可逆的大规模结构重组”的发生为标志，而在千年时间尺度上，人类活动的影响总体呈现持续增加的趋势，但人口、治理、土地利用等变化被证明大多是非线性的因此，识别人-水关系稳态转换的关键是将气候的周期性变化、日益增长的人类活动压力各自对流域系统的影响相剥离。

（2）分析在该稳态转换发生前，流域人水关系处于何模式。根据本研究在2.1流域系统人水关系的定义中所下的定义，对人水关系模式的总结需要考虑“决定社会-水文循环的利益相关者是谁”，以及“该利益相关者的认知或行动模式是怎样的”等问题。由于历史时期可获取的数据或记载的局限性，研究中将利益相关者简单分为“中央政府”与“大众”，其影响社会-水文过程的主要因素分别是对河流的治理，以及对土地利用-覆被的改造。因此，总结此时期人-水关系的关键，是在千年时间尺度下分析各因素左右社会-水文反馈循环的路径与强度。

综上所述，本章研究遵循如图 xxx 所示的设计。

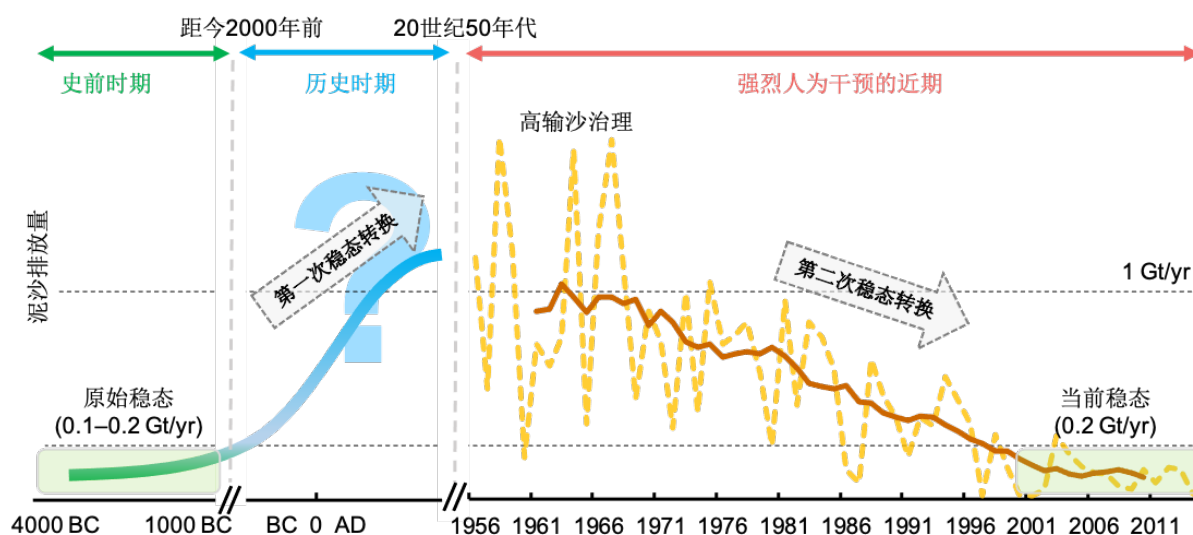


图1 黄河流域千年尺度人-水关系变化的关键研究问题。第一次稳态转换

3.1.2 数据来源

数据是开展历史时期研究的主要挑战，研究方法必须根据可获得的、质量可靠的数据来进行设计。本研究通过整理前人在沉积学、气候学、历史学等领域的著述，获取到公开发表、质量可靠的数据及其来源如表1所示。

3.1.3 稳态转换识别框架

第一次稳态转换，可以以黄河输沙量的增加不再适应一般的气候波动。在这，我们考虑环境的影响(图2。周期性气候变化; 驱动 1,) 和人为因素(主要是粮食生产; 司机 2, 图3) 沉积物运输和关注沉积物运输体制的转变，所显示的变化相关的影响因子(沉积、导航和洪水破坏, 图2)。然而, 输沙量和水的排放，与驱动力, 在沉积物运移主要特点，同时可能影响的影响因素。因此, 我们发现政权转移的一个连贯的解释两个相关的部分: 司机和影响相结合。作为两个主要的驱动力, 气候变化和粮食生产在政权扮演关键角色的转变: (1) 在气候湿润时期, 土壤侵蚀和径流增加了更丰富的降水。这可能会导致一个政权的转变, 因为增加排水携带更多的沉积物。(2) 同样, 开垦造成粮食产量通常减少植被的覆盖范围会导致更多的洪水, 加剧水土流失, 增加沉积物运输。

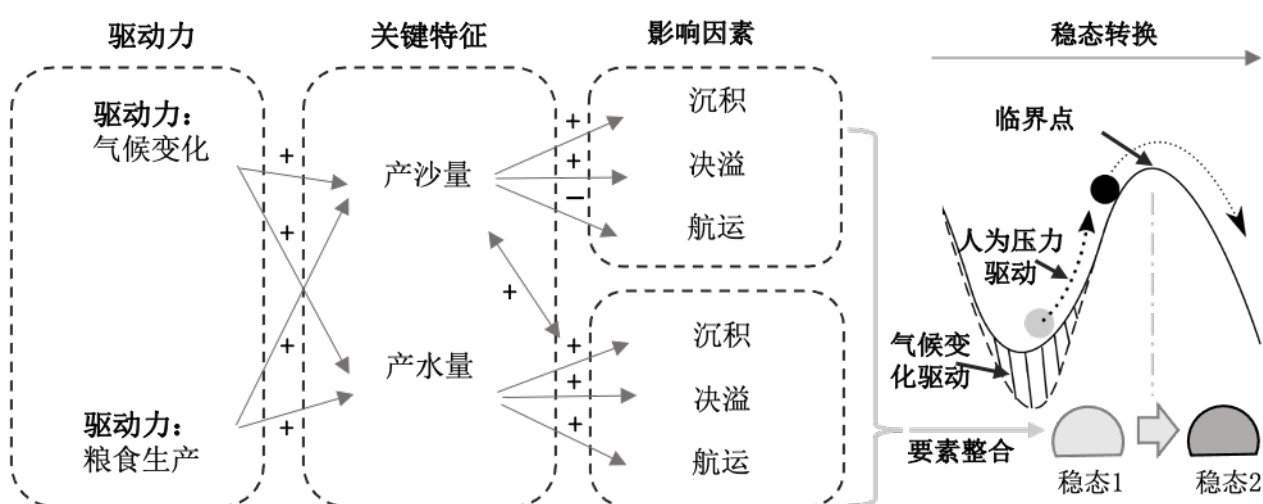


图2 黄河历史时期稳态转换识别的框架。气候变化和粮食生产是致使稳态转换发生的潜在驱动力；稳态转换发生时影响的关键是产沙量和产水量；二者的变化又会触发流域一系列影响因素变化。灰色箭头及其旁边的符号表示消极或者积极的影响路径；在驱动力推动系统接近临界点时，所有受影响因素经整合后会展示稳态转换是否发生。

表 1 千年尺度黄河稳态转换识别的数据来源。

数据集	类型	描述	原始材料	可信度	参考
干旱和洪涝频率	气候驱动力	每五十年为一个时期，分别统计中原、华北平原地区的干旱、洪涝灾害的频次	官方和地方的史料记录	根据历史材料的丰富程度，在不同时期的可信度是不一致的	葛全胜，2011 ^[7]
湿润指数累计距平	气候驱动力	根据史料中与湿度相关的记录，评估历史时期气候湿润程度的等级	官方和地方的史料记录	根据历史材料的丰富程度，在不同时期的可信度是不一致的	Zheng, 2006 ^[8]
黄河中游人口数量	人类活动驱动力	利用史料记录推断的黄河中游人口	历史户籍注册信息	数字不精确但可以反映趋势以供纵向比较	Chen et al., 2012 ^[9]
农牧交错带的北界位置	混合驱动力	农牧交界线距离潼关所在纬度的平均距离	中国历史地图集	时间采样点比较少，但每个点的位置数据较为可信	谭其骧，1996 ^[10]
三门峡峡谷航运数据	影响	三门峡航运通行难易程度的等级	官方和地方的史料记录	数据从可靠的史料来源获得，但存在数据缺失情况	Yu and Wu 1996
黄河下游决溢数据	影响	黄河下游堤防崩溃的次数	官方和地方的史料记录	根据历史材料的丰富程度，在不同时期的可信度是不一致的	Chen et al., 2012 ^[9]
黄河古河道沉积速率	影响	结合历史地图和取样测定的黄河古河道沉积速率	沉积样本	样本所在的古河道时间跨度越长样本越精确	Xu 2003 ^[11]

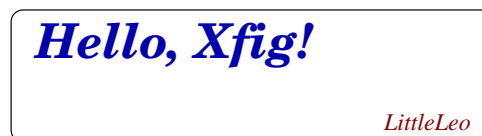


图3 历史稳态转换的影响因子示意图。沉积 (A-C); 决溢 (D-F); 河流

3.2 黄河水沙的稳态转换

3.3 黄河历史水沙变化的驱动因素

3.4 历史洪水的集体记忆模型改进

3.5 历史洪水的集体响应

由于研究时段较长，本章使用的数据集是历史记录、历史时期重建数据、估算数据以及 1949 年之后观测和统计数据的组合（表 2.1，2.2）。历史记录和重建数据高度依赖相关典籍和文献的准确性，但由于隐匿和漏报等问题，一些历史档案中可能存在错误或不确定性（葛全胜等, 2003）。而本章用到的历史时期估算数据也是来自其他研究根据相关文献典籍或相关资料（如沉积速率等）的估算，虽然存在一定不确定性，时间分辨率也有限，但指标的变化趋势基本可信。本章用到的大部分历史数据集是相应指标的仅有的数据源，虽然对这些数据的可靠性持谨慎态度，我们还是相信本研究基本体现了黄土高原社会-生态系统变化的总体趋势。

3.6 小结

参考文献

- [1] Houjie Wang, Zuosheng Yang, Yoshiki Saito, et al. Stepwise Decreases of the Huanghe (Yellow River) Sediment Load (1950-2005): Impacts of Climate Change and Human Activities[J]. *Global and Planetary Change*, 2007, 57(3-4):331–354.
- [2] Yanhong Wei, Juying Jiao, Guangju Zhao, et al. Spatial-Temporal Variation and Periodic Change in Streamflow and Suspended Sediment Discharge along the Mainstream of the Yellow River during 1950-2013[J]. *Catena*, 2016, 140:105–115.
- [3] Shuang Song, Shuai Wang, Bojie Fu, et al. Sediment Transport under Increasing Anthropogenic Stress: Regime Shifts within the Yellow River, China[J]. *Ambio*, 2020, 49(12):2015–2025.
- [4] Giuliano Di Baldassarre, Alberto Viglione, Gemma Carr, et al. Debates Perspectives on Socio-Hydrology: Capturing Feedbacks between Physical and Social Processes[J]. *Water Resources Research*, 2015, 51(6):4770–4781.
- [5] Giuliano Di Baldassarre, Murugesu Sivapalan, Maria Rusca, et al. Sociohydrology: Scientific Challenges in Addressing the Sustainable Development Goals[J]. *Water Resources Research*, 2019, 55(8):6327–6355.
- [6] Alessio Ciullo, Alberto Viglione, Attilio Castellarin, et al. Socio-Hydrological Modelling of Flood-Risk Dynamics: Comparing the Resilience of Green and Technological Systems[J]. *Hydrological Sciences Journal-Journal Des Sciences Hydrologiques*, 2017, 62(6):880–891.
- [7] 葛全胜. 中国历朝气候变化 [M]. 科学出版社, January, 2011.
- [8] Jingyun Zheng, Wei-Chyung Wang, Quansheng Ge, et al. Precipitation Variability and Extreme Events in Eastern China during the Past 1500 Years[J]. *Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences*, 2006, 17(3):579–592.
- [9] Yunzhen Chen, James P. M. Syvitski, Shu Gao, et al. Socio-Economic Impacts on Flooding: A 4000-Year History of the Yellow River, China[J]. *Ambio*, 2012, 41(7):682–698.
- [10] 谭其骧. 中国历史地图集 [M]. 中国地图出版社, June, 1996.
- [11] H. X. Xu. Sedimentation Rates in the Lower Yellow River over the Past 2300 Years as Influenced by Human Activities and Climate Change[J]. *Hydrological Processes*, 2003, 17(16):3359–3371.

学术成果

1. Yang Y, Ren T L, Zhang L T, et al. Miniature microphone with silicon- based ferroelectric thin films. *Integrated Ferroelectrics*, 2003, 52:229-235. (SCI 收录, 检索号:758FZ.)
2. 杨轶, 张宁欣, 任天令, 等. 硅基铁电微声学器件中薄膜残余应力的研究. *中国机械工程*, 2005, 16(14):1289-1291. (EI 收录, 检索号:0534931 2907.)
3. 杨轶, 张宁欣, 任天令, 等. 集成铁电器件中的关键工艺研究. *仪器仪表学报*, 2003, 24(S4):192-193. (EI 源刊.)
4. Yang Y, Ren T L, Zhu Y P, et al. PMUTs for handwriting recognition. In press. (已被 *Integrated Ferroelectrics* 录用. SCI 源刊.)
5. Wu X M, Yang Y, Cai J, et al. Measurements of ferroelectric MEMS microphones. *Integrated Ferroelectrics*, 2005, 69:417-429. (SCI 收录, 检索号:896KM.)
6. 贾泽, 杨轶, 陈兢, 等. 用于压电和电容微麦克风的体硅腐蚀相关研究. *压电与声光*, 2006, 28(1):117-119. (EI 收录, 检索号:06129773469.)
7. 伍晓明, 杨轶, 张宁欣, 等. 基于 MEMS 技术的集成铁电硅微麦克风. *中国集成电路*, 2003, 53:59-61.

致 谢

衷心感谢导师 xxx 教授和物理系 xxx 副教授对本人的精心指导。他们的言传身教将使我终生受益。

在美国麻省理工学院化学系进行九个月的合作研究期间，承蒙 xxx 教授热心指导与帮助，不胜感激。感谢 xx 实验室主任 xx 教授，以及实验室全体老师和同学们的热情帮助和支持！本课题承蒙国家自然科学基金资助，特此致谢。

感谢清华的薛瑞尼及相关同学，他们制作维护的清华学位论文模板极大的方便了 L^AT_EX 用户的论文写作。

宋爽

2023 年 1 月