

实验语音学基础教程

SHIYAN YUYINXUE JICHU JIAOCHENG 实验语音学基础教程



21世纪汉语言专业规划教材

专业方向基础教材系列

中某一个时期的称呼，这主要是因为语音学在大量采用了实验手段和方法后，人们需要单独花费很大

精力来学习这一些方法，所以

称为“实验语音学”。但随着语音学的发展，几乎任何语音学研

究都需要进行实验，

所以“实验”二字就显得越来越没有意义。

实验语音学基础教程

实验语音学基础教程

实验语音学基础教程

实验语音学基础教程

实验语音学基础教程

实验语音学基础教程

SHIYAN YUYINXUE JICHU JIAOCHENG

# 实验语音学基础教程

孔江平 编著



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS



21世纪汉语言专业规划教材

专业方向基础教材系列

# 实验语音学基础教程

孔江平 编著



北京大学出版社

PEKING UNIVERSITY PRESS

## 图书在版编目(CIP)数据

实验语音学基础教程 / 孔江平编著. —北京: 北京大学出版社, 2015.8  
(21世纪汉语言专业规划教材)

ISBN 978-7-301-26099-9

I. ①实… II. ①孔… III. ①实验语音学—高等学校—教材 IV. ①H017

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第168062号

- 书 名** 实验语音学基础教程  
**著作责任者** 孔江平 编著  
**责任编辑** 崔蕊  
**标准书号** ISBN 978-7-301-26099-9  
**出版发行** 北京大学出版社  
**地 址** 北京市海淀区成府路205号 100871  
**网 址** <http://www.pup.cn> 新浪微博: @北京大学出版社  
**电子信箱** zpup@pup.cn  
**电 话** 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62753334  
**印 刷 者** 北京大学印刷厂  
**经 销 者** 新华书店  
650毫米×980毫米 16开本 13印张 200千字  
2015年8月第1版 2015年8月第1次印刷  
**定 价** 42.00元

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

**版权所有, 侵权必究**

举报电话: 010-62752024 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

图书如有印装质量问题, 请与出版部联系, 电话: 010-62756370

---

## 序

现代语音学是一门文理交叉学科，上个世纪主要采用声学分析的方法，本世纪的前十几年大量采用生理分析的方法，目前则逐步开始用脑科学的仪器和方法进行研究。研究方法的快速发展，使得语音学研究者的背景知识也在不断变化和扩展，这就需要学习更多的理工科、医学、心理学和脑科学的知识和研究方法。

目前，国内大学本科生的现代语音学教材较少，在内容和方法上主要局限在语音四要素的声学分析方面，大多数研究者都以基频这个声学参数为基础来讨论问题，这极大地限制了语音学在中国的研究和发展。因此，很有必要写一本适合本科生的实验语音学基础教材。由于中国教育体制的限制，文科生的理科知识相对缺乏，这导致给文科专业本科生开设实验语音学课程有一定的困难。作者在北京大学给本科生讲授了十几年实验语音学课程，根据这十几年开课的情况和经验，编写了这本《实验语音学基础教程》。本教材在内容安排上，不仅涉及传统语音学和音位学的田野调查、语音四要素的声学分析、常用的生理分析方法和感知听辨的研究方法，而且介绍了语音学从基础分析到进一步建立语音模型的方法和重要性。本教材使用了“实验”二字，主要是强调教材将重点放在方法上。希望本教材既能让学习者了解一些具体的概念和研究方法，又能让学习者在宏观上对现代语音学的轮廓有一个清晰的把握。下面对本教材的主要内容进行一些介绍，作为学习的一个导读。

第一章介绍语音学的历史、发展过程和现状，让学习者对语音学有一个整体的认识。主要内容包括：传统语音学、X光技术的应用、频谱分析技术的应用、生理和医学技术的应用、语音学与语言学、语音学与言语科学和言语工程、语音学与人类语言复杂系统和语音学的学科范畴。

第二章介绍语音产生的基本生理知识。主要内容包括：发音器官的演化和形成、语音的调音器官、语音的发声器官、呼吸系统、听觉及神经系统。

第三章介绍普通语音学和音位学的一些基本概念，以便学习者更好地理解面向语言学的语音学的内容和意义。主要内容包括：语音学和音位学、辅音及分类、元音及分类、声调及分类、语言发声类型、音素和音位、音位处理的原则和语言田野调查基础。

第四章介绍声学概念和信号处理基础知识。这一章的内容较多，是文科背景学生学习的难点，需要阅读一些声学的辅助材料。主要内容包括：声学基础、语音声学基础、语图分析、数字信号基础和语音信号处理基础。

第五章介绍声调研究的基本概念和方法。中国汉藏语系语言大多都有声调，因此本章内容实用性很强，但研究上存在一些误区，希望学习者通过本章的学习能正确掌握声调研究的概念和方法。主要内容包括：基频、音高和声调的定义、中国语言的声调和音调、基频的提取方法、基频的数据处理、五度值转换和声调的感知因素。

第六章介绍元音的发音原理、声学性质和参数提取。元音的发音利用了大量磁共振图像进行解释，声学方面利用共振峰解释，并使二者结合起来。主要内容包括：元音的发音性质、读语图识元音、共振峰的提取、声学元音图和语音量子理论。

第七章介绍辅音的发音原理、声学性质和参数提取。辅音的发音利用了大量磁共振图像，可以看到真实的辅音发音动作，另外，辅音参数的提取也是研究辅音的重要内容。主要内容包括：普通话辅音的发音性质、读语图识辅音、辅音的声学性质和辅音参数的

提取。

第八章介绍嗓音发声类型的研究方法。这一部分内容在其他同类教材中介绍得较少，希望学习者通过本章的学习能掌握一两种基本方法，并对语言发声类型研究有深入的认识。主要内容包括：谐波分析、逆滤波分析、频谱倾斜率分析、多维嗓音分析、声门阻抗分析、嗓音音域分析和嗓音分析方法的发展。

第九章介绍韵律和语音情感研究的基本概念和方法，希望学习者了解和韵律有关的各个方面。主要内容包括：韵律与情感、呼吸与韵律、基频与韵律、发声与情感以及语音情感的复杂性。

第十章介绍语音感知的基本概念和研究方法。主要内容包括：语音感知研究、音位学语音感知的方法、语音感知样本合成、元音的感知、塞音的感知、塞音 VOT 的感知、声调的感知、发声类型的感知和语音感知的其他因素。

第十一章介绍语音信号采集过程中应该注意的问题。这一章的内容对于田野语音调查和录音十分重要。主要内容包括：录音笔录音、电脑录音、语音多模态信号采集、视频信号采集、修建录音室、田野调查的录音环境和文件管理。

第十二章介绍语音学和相关交叉学科的研究进展以及语音模型研究对语音学研究的重要性。主要内容包括：唇形模型研究、声道模型研究、嗓音模型研究、肺模型研究、电子腭位研究、代偿性发音研究、声纹鉴定研究、病理语音研究、语音与读写障碍研究以及言语艺术和口传文化研究。

本教材最初的设计是希望文科专业本科生能自己比较顺利地理解大部分内容。教材完成以后发现，有些内容仅靠学生自己完全理解有一些困难，还需要授课老师进一步讲解并进行具体的课堂实验操作。由于部分内容比较新，有些学校没有相关的仪器和适用的商用软件及分析工具，作者会尽可能地提供和本教材有关的资料、语音文件、视频文件、分析工具和教案，以便教师更好、更方便地讲解。

由于时间有限，本教材难免有许多疏漏和不恰当之处，希望广大读者能和作者沟通，以便对本教材进行不断地修订和完善。

# 目 录

<b>第一章 语音学与实验语音学</b> .....	1
1.1 传统语音学 .....	1
1.2 X 光技术的应用 .....	2
1.3 频谱分析技术的应用 .....	3
1.4 生理和医学技术的应用 .....	3
1.5 语音学与语言学 .....	4
1.6 语音学与言语科学和言语工程 .....	4
1.7 语音学与人类语言复杂系统 .....	5
1.8 语音学的学科范畴 .....	5
<b>第二章 语音生理基础</b> .....	7
2.1 发音器官的演化和形成 .....	7
2.2 语音的调音器官 .....	8
2.3 语音的发声器官 .....	10
2.4 呼吸系统 .....	14
2.5 听觉及神经系统 .....	15
<b>第三章 语音学和音位学</b> .....	18
3.1 语音学和音位学 .....	18
3.2 辅音及分类 .....	19
3.3 元音及分类 .....	20
3.4 声调及分类 .....	22
3.5 语言发声类型 .....	24
3.6 音素和音位 .....	25

## 2 实验语音学基础教程

3.7 音位处理的原则 .....	26
3.8 语言田野调查基础 .....	28
<b>第四章 语音声学基础 .....</b>	<b>30</b>
4.1 声学基础 .....	30
4.2 语音声学基础 .....	36
4.3 语图分析 .....	39
4.4 数字信号基础 .....	41
4.5 语音信号处理基础 .....	46
<b>第五章 基频、音高和声调 .....</b>	<b>53</b>
5.1 基频、音高和声调的定义 .....	53
5.2 中国语言的声调和音调 .....	55
5.3 基频的提取方法 .....	57
5.4 基频的数据处理 .....	60
5.5 五度值转换 .....	63
5.6 声调的感知因素 .....	66
<b>第六章 调音、共振峰和元音 .....</b>	<b>69</b>
6.1 元音的发音性质 .....	69
6.2 读语图识元音 .....	75
6.3 共振峰的提取 .....	91
6.4 声学元音图 .....	93
6.5 语音量子理论 .....	96
<b>第七章 噪声、浊音和辅音 .....</b>	<b>98</b>
7.1 普通话辅音的发音性质 .....	98
7.2 读语图识辅音 .....	106
7.3 辅音的声学性质 .....	112
7.4 辅音参数的提取 .....	115



<b>第八章 语言发声类型</b> .....	120
8.1 谐波分析 .....	120
8.2 逆滤波分析 .....	122
8.3 频谱倾斜率分析 .....	125
8.4 多维嗓音分析 .....	127
8.5 声门阻抗分析 .....	130
8.6 嗓音音域分析 .....	133
8.7 嗓音分析方法的发展 .....	135
<b>第九章 韵律和情感</b> .....	136
9.1 韵律与情感 .....	136
9.2 呼吸与韵律 .....	137
9.3 基频与韵律 .....	142
9.4 发声与情感 .....	144
9.5 语音情感的复杂性 .....	147
<b>第十章 语音的感知</b> .....	149
10.1 语音感知研究 .....	149
10.2 音位学语音感知的方法 .....	150
10.3 语音感知样本合成 .....	151
10.4 元音的感知 .....	153
10.5 塞音的感知 .....	154
10.6 塞音 VOT 的感知 .....	155
10.7 声调的感知 .....	156
10.8 发声类型的感知 .....	159
10.9 语音感知的其他因素 .....	160
<b>第十一章 信号采集和田野录音</b> .....	161
11.1 录音笔录音 .....	161
11.2 电脑录音 .....	162
11.3 语音多模态信号采集 .....	164

#### 4 实验语音学基础教程

11.4 视频信号采集 .....	165
11.5 修建录音室 .....	167
11.6 田野调查的录音环境 .....	169
11.7 文件管理 .....	172

#### 第十二章 语音多模态和语音应用研究 .....

12.1 唇形模型研究 .....	173
12.2 声道模型研究 .....	175
12.3 嗓音模型研究 .....	177
12.4 肺模型研究 .....	179
12.5 电子腭位研究 .....	183
12.6 代偿性发音研究 .....	184
12.7 声纹鉴定研究 .....	185
12.8 病理语音研究 .....	187
12.9 语音与读写障碍研究 .....	187
12.10 言语艺术和口传文化研究 .....	189

#### 附 录 .....

实验课一：提取基频研究声调 .....	191
实验课二：提取共振峰研究元音 .....	191
实验课三：开商和速度商研究发声 .....	191
实验课四：提取辅音参数 .....	191

#### 参考文献 .....

参考文献 .....	192
------------	-----

# 第一章

## 语音学与实验语音学

### 章节简介：

本章主要介绍：1) 传统语音学；2) X光技术的应用；3) 频谱分析技术的应用；4) 生理和医学技术的应用；5) 语音学与语言学；6) 语音学与言语科学和言语工程；7) 语音学与人类语言复杂系统；8) 语音学的学科范畴。本章的主要目的是让学习者对语音学的历史、发展过程和现状有一个整体的了解。

### 1.1 传统语音学

语音学是一门既古老又年轻的学科。说它古老，是因为语音学早在人们开始关注语言时就产生了；说它年轻，是因为随着人类科学技术的发展，语音学在不断采用新的技术和研究方法。所以，语音学在研究方法和理论上既有深厚的传统，又有新的活力。

早在西方殖民时期，由于探索新大陆的需要，西方大量传教士开始奔赴世界各地传播宗教。除了宗教知识外，传教士还需要具备深厚扎实的听音和记音的基本功，因为一个传教士到了一个新的地方，首先要学习当地的语言，然后才能进行传教活动。一百多年前，西方传教士就从东南亚进入了中国，在云南等少数民族地区学习当地语言并进行传教活动。在云南怒江峡谷北端的丙中洛，至今还保留有完好的教堂和传教士的墓地。

那么传教士在一个完全未知的语言环境中需要具备什么样的语言调查技能，才能完成语言的学习和宗教的传播呢？首先就是要具备传统语音学和语言学的基本技能。形象地说，如果将一个传教士放在一个孤岛或丛林中，去一个说一种未知语言的部落，他需要在一两天内用国际音标（International Phonetic Alphabet，简称 IPA）记录几百个词，然后整理出这种语言的音位系统；在一个月内记录一千个这种语言的基本词，然后创制拼音文字；在半年或更长的时间内记录故事和长篇语料，研究语法和编辑词典；最后是翻译赞美诗和宗教典籍，进行传教活动。从中可以看出传统语音学在人们认识未知语言过程中的作用，同时也可以看出传统语音学和音位学同语言的密切关系。由于传统语音学主要的技能是听音和记音，因此，也将传统语音学称为“口耳之学”。

在中国偏远的少数民族地区，如喜马拉雅山脉南坡的丛林中，还有不少语言和方言没有调查。因此，传统语音学在中国现代语言学的调查和研究中，仍然具有重要的实际意义和理论意义。

### 1.2 X 光技术的应用

1895年，德国物理学家伦琴在研究阴极射线管中的气体放电现象时，发现了一种能穿透物体的光线。由于当时人们对这种光线的性质还不清楚，因此称之为X光，也称伦琴射线。X光是人类的一个伟大发现，现在我们知道它是一种波长很短但能量很大的光线。X光的发现对人类，特别是对现代医学做出了很大的贡献。

自从发现了X光，人们很快就将其应用于语音学的研究中，拍了大量英语和法语的发音过程，由此了解了发音器官的基本部位和运动方式，如齿龈、硬腭、软腭、舌尖、舌面、舌根、口腔、鼻腔和咽腔等，也认识到舌面最高点和元音的关系。X光直接应用于语音学的研究，使人们从自省感知语音的时代进入了科学实证研究语音的时代。因此可以说，X光的应用是语音学从传统走向科学的第一个飞跃，使语音学开始和言语生理学形成了学科的交叉和结合。

### 1.3 频谱分析技术的应用

在第二次世界大战期间，由于军事上的需要，科学家们发明了雷达技术，这种技术主要是基于信号的频谱分析。我们知道，声音和信号都是由不同数目的正弦波叠加组成，将各个正弦波从声音信号中分解出来就是频谱分析。

二次大战后，贝尔实验室出版了《可视语言》(Ralph K. Potter, George A. Kopp, Harriet C. Green, 1947)一书，该书利用频谱分析技术全面系统地分析了英语的语音，使人们认识了语音的大量物理性质。例如，在声学上，元音由不同的共振峰组成，塞音由冲直条脉冲组成，擦音和送气音主要由噪音乱纹组成。通过和 X 光发音动作图对照研究，人们发现了共振峰和舌位运动的关系以及过渡音征和辅音的关系。语音频谱分析技术的使用不仅使语音学走向科学，同时也奠定了言语科学和言语工程的基础。频谱分析方法用于语音学的研究，是语音学走向科学的第二个飞跃，从此，语音学开始和言语声学形成学科的交叉和结合。

### 1.4 生理和医学技术的应用

随着科学技术的快速发展，医学领域出现了大量语音医学诊断和治疗的新技术及方法，并逐步用于语音学的研究，如电子腭位技术用于辅音的研究，高速摄影技术用于声带振动的研究，螺旋 CT 和磁共振成像 (MRI) 技术用于声道形状和运动的研究，功能性磁共振成像 (fMRI) 用于大脑语音处理的研究，呼吸带用于言语呼吸节奏和韵律的研究，喉头仪 (EGG) 用于发声类型的研究，肌电仪 (EMG) 用于发音肌肉的研究，脑电仪 (ERP) 用于语音感知的研究等。这些生理、医学技术和仪器的使用，大大推动了语音学在理论和方法上的进步及发展。基于语音的生理研究成果，语音生理几何模型和语音生理模型也逐步发展起来，这些模型通过模拟人类语音的产生推动了语音科学的发展。

## 1.5 语音学与语言学

传统语音学完全是为语言学服务的，是语言学的基础和一个分支。在大量使用了声学 and 生理学的研究方法后，语音学研究的内容也发生了变化，和许多学科形成了交叉和重叠。以我国语音学研究为例，1925年，刘复先生在北京大学成立“语音乐律实验室”，标志着中国的语音学从传统走向了实证，也标志着现代语音学进入了中国。在之后的九十多年中，人们广泛认识到了声调的物理性质和语言学意义，同时也认识到了声母和韵母作为汉藏语系语言的一个单位在音节结构中的地位和语言学上的重要意义。从上个世纪80年代起，语言学界针对中国民族语言的发声类型进行了大量的研究（孔江平，2001）。近年来，研究又发现汉语方言中的语言发声类型也具有一定的音位功能（朱晓农，2004a；彭建国、朱晓农，2010；章婷、朱晓农，2012；关英伟，2013；张锐锋、孔江平，2014；Guan, 2015）。在本世纪初，脑科学的发展也进入到语音学领域，脑电仪、功能性磁共振成像被用于语音大脑活动定位和感知的研究。可以看出，随着科学的发展，语音学和语言学仍然有着密切的关系，因此将其称为“面向语言学的语音学”(linguistic phonetics)，推动了语言学的发展。

## 1.6 语音学与言语科学和言语工程

自从语音学广泛采用了声学频谱的分析方法，语音学与言语科学和言语工程就形成了学科交叉。语音学家利用声学频谱对各种语言的语音进行声学分析，探索语音的共性和语音在音位中的语言学意义，发现了大量语音的特性和基本规律，如共振峰结构和元音的性质，擦音频率下限和强频区对擦音性质的重要性，过渡音征对塞音感知的意义等。基于语音学家和言语科学家研究的成果，言语工程有了很大的发展，如英国人霍姆斯（Holmes）利用并联电路开发的合成器利用声学参数合成语音，美国人柯莱特（Klatt）将串联电路合成器进行改进建立了串并联电路合成器，大大提高了合

成语音的质量。反过来,由于参数合成器在语音合成过程中能严格控制参数,为语音的感知研究和脑科学研究提供了支持。

### 1.7 语音学与人类语言复杂系统

语音学与人类语言复杂系统近几年才开始受到人们的关注。这是因为随着脑科学的发展,语言的各个方面,如语言认知、语言习得、语言演化、语言病理、语言工程等,作为人类行为中最复杂的一套行为系统越来越受到关注,展现出了广阔的研究前景。

在语言学的研究领域,语音学从生理发音部位的描写发展到语音声学分析,又从语音声学分析发展到语音样本的参数合成。真正的参数合成是指具有语言学意义的参数,这需要建立语音的语言学模型。以此合成出来的语音样本,可以用于语音的大脑感知研究,为语音脑科学的研究奠定基础。语音作为语言活动的重要物理外壳,涉及语言的各个领域,如由大脑控制发音生理机制形成语音;音素通过大脑形成音位;由于语言接触,语音在不同的语言系统中通过竞争发生演变;在学习中,语音习得通过大脑形成系统;大脑对语音的个体辨识和群体识别;口吃、腭裂发音、腹语、含灯大鼓等代偿性语言行为和特殊行为。这一切构成了语音在人类语言复杂系统中的一个方面,展示了语音在人类语言复杂系统中的特殊地位和广阔的研究前景。

### 1.8 语音学的学科范畴

传统语音学的学科范畴是很明确的。它是语言学的一个分支,主要是利用国际音标,通过听音记音来完成语言学田野调查的语音记录,因此称为“口耳之学”。在完成记音后,其他工作就交给音位学(phonemics)。可以看出,传统语音学的学科范畴比较窄,内容也有限,与其说是一门学科,不如说是一种技能。然而语音学发展到现代语音学阶段,其学科范畴已经变得十分宽广,同许多其他学科形成了交叉,研究的内容也和其他许多学科重叠,因此就有了声学语音学、生理语音学、心理语音学、病理语音学、司法语音

学、神经语音学、工程语音学、方言语音学、声乐语音学等。

语音学原本的学科范畴是研究语音的语言学意义，即语音中具有区别意义的语音性质。下面以此为标准来讨论一下现代语音学的学科范畴。声学语音学和言语声学不同。言语声学主要研究语言的声学性质，包括语音信号的处理方法，而声学语音学只研究语音在某种语言中有区别意义的声学特性。生理语音学研究语音中具有区别意义的生理机制，而言语生理学主要关注言语产生的生理机制。如，声带能否正常振动是言语生理学研究的主要内容，而声带振动的差别到什么时候形成具有不同语言学意义的两种发声类型是生理语音学研究的内容。心理语音学和心理物理学有很大不同。心理语音学主要关注音位的感知范畴，如声调的感知范畴，无论是采用行为学的方法还是采用脑科学的方法。心理物理学则主要关注人们对语音的普遍反应规律，如听觉域和音高等。再举一个工程语音学的例子。在语音合成中，目前言语工程不太关注言语产生的原理，更注重统计模型，因此和语音学的关系越来越小。但早期的参数合成则广泛应用了语音学的知识。从以上的讨论来看，将语音学的学科范畴定义在语言学的范畴内，定义在研究语音的语言学意义上比较合理和明确。但这并不排除其他学科也研究语音的语言学意义。和语言学一样，语音学研究的对象都具有民族性。

最后，说一下“实验语音学”这个名称。实验语音学是语音学发展过程中某一个时期的称呼，这主要是因为语音学在大量采用了实验的手段和方法后，人们需要单独花费很大精力来学习这些方法，所以称为“实验语音学”。但随着语音学的发展，几乎任何语音学研究都需要进行实验，所以“实验”二字就显得越来越没有意义。但从教学的角度，我们还是将这本教材称为“实验语音学教程”；又因为这本教材主要是为本科生学习语音学的基本实验方法和基础理论而设计，所以最终命名为《实验语音学基础教程》。



## 第二章

# 语音生理基础

### 章节简介：

本章主要介绍：1) 发音器官的演化和形成；2) 语音的调音器官；3) 语音的发声器官；4) 呼吸系统；5) 听觉及神经系统。本章的目的是让学习者了解语音产生的基本生理知识。

### 2.1 发音器官的演化和形成

生物在起源和演化过程中逐步形成了不同的交际方式。现代科学研究表明，无论是昆虫还是哺乳动物，都有自己的交际方式，如化学气味、舞蹈动作和声音。这些交际方式无论是发达还是简单，都能满足各种生物当前生存的需要，而且不同物种的交际方式也都在随着物种的进化而发展。

古人类学研究表明，大概在五百万年以前，人类从类人猿进化而来。1974年11月，美国科学家唐纳德·约翰森等人在埃塞俄比亚的哈达尔地区发掘出一具古人类化石，根据骨骼的形态分析，是一名二十岁左右的女性，被命名为“露西”。研究表明，露西生活在三百万年以前，已经能够直立行走。后来该地区又发现了许多古人类化石，通称为“阿法南猿”化石。目前大多数科学家认为阿法南猿是最早的人类。根据科学家对古人类化石的发音器官和大脑容量，特别是布洛卡区容量的研究，人类的语言大约形成于五万年前。我们知道，人类的语言主要是基于声音，而语音的产生基于人类生理和心理的进化。一般来讲，主要有以下几个方面：第一是人