



实验语音学 概要

★ 吴宗济 林茂灿主编



Higher
Education
Press

内 容 简 介

本书从实验的角度比较系统深入地介绍和讨论了语音方面的有关问题,并介绍了语音实验的主要原理和方法。

本书共分十二个部分,包括正文十章和附录两个。第一章介绍实验语音学发展的过去、现在和未来。第二至四章分别介绍语音的物理、生理和心理方面的基础知识。第五至十章着重介绍和讨论元音、辅音、声调、音节和音联、轻重音及区别特征等方面的问题。附录一介绍常用的语音实验仪器装置和方法。附录二介绍计算机在语音学研究中的应用。本书各章尽可能多地吸取国内外关于语音学,尤其是汉语普通话方面的近期实验研究成果。内容较广泛,并列有许多参考文献,以供读者更深入地学习研究之用。

本书可供语言学、声学、语音信号处理、言语工程学及有关言语病理学等专业研究生的语音学教学用,也可供这些专业本科生的语音学参考用,对语言学工作者、言语工程学工作者及语音学爱好者也具有参考价值。

实 验 语 音 学 概 要

吴宗济 林茂灿主编

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

河北省香河县印刷厂印装

开本787×1092 1/16 印张22.25 插页9 字数510 000

1989年1月第1版 1989年3月第1次印刷

印数0001—2,215

ISBN 7-04-001060-7/H·251

定价 7.65元

前 言

语音学是语言学的一个分支。近二三十年来,语音学确实取得了很大的进展。这些进展的主要推动力在于通信工程要求寻找语音的最本质成分,在于认知科学需要研究语音产生和语言知觉的机理,还在于智能计算机要求研制高质量的语音合成和语音识别系统。当然,语音学的发展还与有关言语病理科学密切相关。现在的语音学已成为与语言有关的许多学科所必不可少的重要组成部分。

数字计算机和数字信号处理技术进入语音学研究领域,使语音学的研究手段和方法发生了革命性的变化。现在,语音学各个部分的研究几乎都离不开各种实验仪器,都要采用种种实验方法,当然,它更离不开计算机。现在的语音学越来越象是一门实验科学。

这几年,我国的语音学研究和言语工程学研究都有一定的发展。语音学工作者和言语工程学工作者都希望有一本从实验角度阐述语音学的著作。我们大胆地作这样的尝试,编写了这本书——《实验语音学概要》。这本书包括正文十章和两个附录,共十二部分。吴宗济撰写第一、六和十等三章,林茂灿撰写第四、七和九等三章,鲍怀翘撰写第三、五等两章,杨顺安撰写第二章和附录二,颜景助撰写附录一,许毅撰写第八章。本书各章都尽可能多地吸取国内外语音学,尤其是关于汉语普通话方面的近期实验研究成果。现在的语音研究,事实上已离不开科学实验,一般较新的语音学著作都不言而喻地包括了实验语音学的内容。本书以“实验语音学”命名,在于突出语音实验在语音学中的地位。当然,目前人们对语言代码的认识还相当肤浅,语音学还在发展,本书的目的在于抛砖引玉,希望今后有更高水平的这方面专著问世。

本书各章的主要内容曾在一个讲习班上讲授过,后来油印成《实验语音学讲义》。各方面同行对讲义提了不少有益的意见。北京大学中国语言文学系林焘教授和他所领导的语音实验室的同志们对讲义提出许多宝贵意见。我们在此表示感谢。

由于我们学识水平有限,编写时间仓促,应该收入本书的研究成果可能有所遗漏,敬请有关同志原谅;书中一定还有不少缺点和错误,敬请读者批评指正。

吴宗济 林茂灿

1987年10月于北京

目 录

第一章 实验语音学的过去、现在与未来 (吴宗济)

- 1.1 实验语音学是一门综合学科 (1)
- 1.2 实验语音学发展的几个阶段 (2)
 - 1.2.1 第一期 1920年以前 (2)
 - 1.2.2 第二期 1920—1940 (2)
 - 1.2.3 第三期 1940—1960 (4)
 - 1.2.4 第四期 1960—1980 (6)
 - 1.2.5 第五期 1980— (7)
- 1.3 今天的语音学 (9)
- 1.4 我国语音实验研究的概况 (10)
 - 1.4.1 三十年代 (10)
 - 1.4.2 五十年代至今 (11)
- 参考文献 (12)

第二章 语音的物理基础 (杨顺安)

- 2.1 振动系统 (13)
 - 2.1.1 简谐振动 (13)
 - 2.1.2 阻尼振动、强迫振动和共振 (15)
- 2.2 声波的基本特性 (16)
 - 2.2.1 从振动到声波 (16)
 - 2.2.2 声压的度量 (17)
 - 2.2.3 声能与声强 (18)
 - 2.2.4 倍频程 (19)
- 2.3 声波传播过程中的一些现象 (20)
 - 2.3.1 反射和衍射 (20)
 - 2.3.2 吸收 (20)
 - 2.3.3 混响 (21)
 - 2.3.4 干涉、拍和驻波 (21)
- 2.4 声波在管道中的传播 (23)
 - 2.4.1 电-力-声类比 (23)

- 2.4.2 声管及其传输线类比 (24)
- 2.4.3 均匀开管 (27)
- 2.5 噪声 (27)
 - 2.5.1 湍流噪声/摩擦噪声 (27)
 - 2.5.2 瞬态噪声 (28)
- 2.6 声音的频谱 (28)
 - 2.6.1 复合音与频谱 (28)
 - 2.6.2 频谱的形成 (31)
- 参考文献 (32)

第三章 语音产生的生理基础 (鲍怀翘)

- 3.1 声门下系统 (33)
 - 3.1.1 呼吸机理 (33)
 - 3.1.2 肺活量 (34)
 - 3.1.3 发声呼吸 (34)
- 3.2 喉 (34)
 - 3.2.1 喉的构造 (35)
 - 3.2.2 声带振动学说 (38)
 - 3.2.3 声门波形的测量参数 (40)
 - 3.2.4 喉机电特性 (41)
 - 3.2.5 发声类型 (43)
- 3.3 共鸣腔 (44)
 - 3.3.1 口腔 (44)
 - 3.3.2 咽腔 (47)
 - 3.3.3 鼻腔 (47)
- 3.4 语音产生的空气动力学说 (47)
 - 3.4.1 声道内空气动力学特性 (48)
 - 3.4.2 喉空气动力学特性 (50)
- 参考文献 (51)

第四章 语音知觉的心理基础 (林茂灿)

- 4.1 人的听觉系统 (53)
 - 4.1.1 耳的结构和机能 (53)

4.1.2 听觉和神经	(57)
4.2 听觉的感受性	(58)
4.2.1 绝对感受性	(58)
4.2.2 差别感受性	(60)
4.3 掩蔽效应	(62)
4.3.1 纯音对纯音的掩蔽	(63)
4.3.2 噪声对纯音的掩蔽	(64)
4.4 响度	(67)
4.4.1 响度级(方)和等响度曲线	(67)
4.4.2 响度的数量标度	(68)
4.4.3 复合声的响度	(68)
4.4.4 响度与时长	(70)
4.5 音高	(70)
4.5.1 纯音音高与其频率	(70)
4.5.2 纯音音高与其声强	(72)
4.5.3 复合声的音高	(72)
参考文献	(72)

第五章 元音 (绝怀翘)

5.1 元音的舌位模型	(73)
5.1.1 Bell-Sweet 模型	(73)
5.1.2 收紧点模型	(74)
5.1.3 声道面积函数逼近	(74)
5.2 普通话单元音的生理分析	(77)
5.2.1 舌位分析	(77)
5.2.2 下颌开度	(80)
5.2.3 唇形比较	(80)
5.3 元音产生的声学理论	(81)
5.3.1 声源频谱	(82)
5.3.2 声道传递特性	(84)
5.3.3 普通话元音声道共鸣频率计算	(85)
5.4 元音声学分析	(87)
5.4.1 元音共振峰的定义及计算方法	(87)
5.4.2 声学元音图	(88)
5.4.3 声腔与共振峰关系	(90)
5.4.4 汉语普通话及其它语言单元音的声学特性	(95)

5.5 复合元音的声学分析	(99)
5.5.1 复合元音的性质	(99)
5.5.2 二合元音与三合元音	(99)
5.5.3 介音问题	(100)
5.6 元音的紧/松问题	(100)
5.6.1 紧/松元音对立的语音特征	(101)
5.6.2 中国几种少数民族语言元音紧/松的语音特征	(102)
5.7 鼻化元音	(103)
5.8 卷舌元音	(103)
5.8.1 卷舌元音的生理分析	(104)
5.8.2 卷舌元音的声学分析	(106)
5.8.3 卷舌元音生理特征与声学特征之间的关系	(106)
5.9 元音感知	(106)
5.9.1 元音共振峰的绝对频率和相对频率	(107)
5.9.2 复合元音的感知问题	(108)
参考文献	(109)

第六章 辅音 (吴宗济)

6.1 辅音的特点	(112)
6.2 辅音的生理分析	(113)
6.2.1 起动作用	(114)
6.2.2 调音作用	(114)
6.2.3 发声作用	(115)
6.2.4 辅音生理实验举例	(115)
6.3 辅音的声学分析	(117)
6.3.1 辅音语图模式	(118)
6.3.2 辅音的听辨信息	(119)
6.3.3 噪音起始时间(VOT)	(119)
6.3.4 过渡音征(T)	(119)
6.3.5 强频集中区与音轨	(120)
6.3.6 辅音的频率、强度和时长	(121)
6.3.7 辅音的清浊问题	(123)
6.3.8 辅音的送气问题	(124)
6.4 辅音声学特征与生理特征的关系	(125)
6.4.1 辅音的发音方法	(126)
6.4.2 辅音的发音部位	(126)
6.5 普通话辅音的声学参量	

和调音部位	(127)
6.5.1 不送气清塞音	(127)
6.5.2 送气清塞音	(129)
6.5.3 清擦音	(133)
6.5.4 浊擦音	(134)
6.5.5 清塞擦音	(139)
6.5.6 鼻音	(146)
6.5.7 边音和半元音	(151)
参考文献	(152)

第七章 声调 (林茂灿)

7.1 普通话声调的声学分析	(153)
7.1.1 F_0 曲线	(157)
7.1.2 时长	(158)
7.1.3 字音强度	(159)
7.1.4 四声的声学表现	(160)
7.2 普通话变调的声学分析	(161)
7.2.1 两字组变调	(161)
7.2.2 三字组变调	(161)
7.3 声调的知觉	(162)
7.3.1 声调的听觉辨认依据	(163)
7.3.2 字组里的声调知觉	(171)
7.3.3 语音音高的辨别差阈	(173)
7.3.4 声调的范畴知觉	(174)
7.3.5 声调能力的大脑侧向问题	(177)
7.4 声调的产生	(178)
7.4.1 普通话四声中的环甲肌和胸骨 舌骨肌活动的 EMG 研究	(179)
7.4.2 吴语镇海话单字调中的 VCT 和 P ₁ 的表现	(183)
7.4.3 VCT 和 P ₁ 在普通话两字组 语音 F_0 产生中的作用	(184)
7.5 音段与基频	(185)
7.5.1 塞音清浊对其后面元音 F_0 的影响	(185)
7.5.2 元音后面的喉塞音问题	(188)
7.5.3 元音音质对其 F_0 的影响	(189)
参考文献	(190)

第八章 音节和音联 (许毅)

8.1 关于音节的定义	(193)
-------------------	-------

8.2 普通话音节的一般结构	(193)
8.3 普通话音节的声学语音 学结构框架	(194)
8.3.1 第1段——无声段	(194)
8.3.2 第2段——爆破段	(195)
8.3.3 第3段——摩擦和/或嗓音 段	(195)
8.3.4 第4段——送气段	(196)
8.3.5 第5段——过渡段	(196)
8.3.6 第6段——起始目标值	(196)
8.3.7 第7段——核心目标值	(196)
8.3.8 第8段——收尾目标值或 后音渡	(197)
8.3.9 第9段——鼻尾段	(197)
8.4 普通话声母的语音结构	(197)
8.4.1 擦音	(197)
8.4.2 塞音	(198)
8.4.3 塞擦音	(200)
8.4.4 边音	(201)
8.4.5 鼻音	(202)
8.4.6 零声母和浊擦音	(202)
8.5 普通话韵母的语音结构	(204)
8.5.1 单韵母	(204)
8.5.2 复韵母	(206)
8.5.3 鼻韵母	(206)
8.5.4 儿化韵	(207)
8.6 声母与韵母的相互作用	(208)
8.6.1 音征互载	(209)
8.6.2 声韵母之间的时长补偿	(210)
8.7 音联——语音单元之间 的连接和分界	(210)
8.7.1 闭音联	(211)
8.7.2 音节音联	(211)
8.7.3 节奏音联	(214)
8.7.4 停顿音联	(218)
参考文献	(219)

第九章 轻重音 (林茂灿)

9.1 英语重音的实验研究	(221)
9.1.1 重音的知觉实验	(221)
9.1.2 重音的声学分析	(226)

9.1.3 英语基频 F_0 产生机制问题	(227)
9.2 汉语普通话的轻重音	(230)
9.2.1 普通话轻声的声学关联物	(230)
9.2.2 不带轻声字组的重音性质	(239)
9.2.3 元音强度、响度和时长	(245)
参考文献	(248)

第十章 区别特征 (吴宗济)

10.1 区别特征学说的起源和 发展	(250)
10.2 各家的区别特征理论	(251)
10.2.1 Trubetzkoy 的区别性对立 理论	(251)
10.2.2 Jakobson 和 Halle 的 区别特征系统	(252)
10.2.3 Jakobson- Fant - Halle 的 区别特征系统	(255)
10.2.4 Chomsky 和 Halle 的区别 特征系统	(258)
10.2.5 Ladefoged 的区别特征系 统	(259)
10.3 超音段的区别特征	(261)
10.3.1 王士元的声调特征系统	(262)
10.3.2 自主音段音系学	(262)
10.4 汉语普通话的区别特征 系统	(264)
10.4.1 偶分概念与多分关系	(264)
10.4.2 普通话的偶分特征和区别 特征矩阵	(265)
10.4.3 普通话区别特征的相互关 系	(267)
10.4.4 普通话声调特征的音系学 表达	(268)
10.4.5 自主音段分析方法在表达 普通话变调上的应用	(270)
参考文献	(272)

附录一 常用的语音实验仪器

装置和使用方法 (颜景助)

A1.1 研究语音生理特性的仪 器装置和使用方法	(274)
-----------------------------	-------

A1.1.1 口形照相	(274)
A1.1.2 腭位照相	(274)
A1.1.3 动态腭位纪录	(276)
A1.1.4 声带的观测	(277)
A1.1.5 气流、气压和声门下压力 的测量	(279)
A1.1.6 X 光照相和 X 光电影	(279)
A1.1.7 X 光微光束系统	(280)
A1.2 研究语音声学特性的方 法和仪器	(281)
A1.2.1 波形显示	(281)
A1.2.2 声音强度的测量	(282)
A1.2.3 音高显示	(285)
A1.2.4 频谱分析	(286)
A1.2.5 语图仪	(300)
A1.3 语音实验仪器的应用	(302)
参考文献	(304)

附录二 计算机在语音学研究 中的应用 (杨顺安)

A2.1 语音信号数字处理的基 础知识	(305)
A2.1.1 语音信号的数字化	(305)
A2.1.2 数字滤波器	(307)
A2.1.3 语音产生模型及其参数	(309)
A2.2 语音信号的时域分析	(311)
A2.2.1 预处理	(311)
A2.2.2 语音信号的过零率分析	(312)
A2.2.3 语音信号的幅度测定	(313)
A2.2.4 语音信号的自相关函数	(313)
A2.3 快速傅里叶变换和倒频 谱分析	(316)
A2.3.1 离散傅里叶变换和快速傅 里叶变换	(316)
A2.3.2 利用 FFT 进行语音信号的 频谱分析	(317)
A2.3.3 倒频谱分析	(318)
A2.4 线性预测技术	(319)
A2.4.1 LPC 技术的基本概念	(320)
A2.4.2 利用 LPC 技术提取基频	(322)
A2.4.3 利用 LPC 技术估测共振	

峰和谱包络.....	(322)
A2.4.4 声道截面函数的估测.....	(324)
A2.4.5 声门波形的估测.....	(325)
A2.5 语音合成技术及其在语	
音感知研究中的应用	(326)
A2.5.1 共振峰合成器的基本原理...	(326)
A2.5.2 利用合成语音进行语音感	

知研究.....	(329)
A2.6 计算机的语音输入和语	
音输出	(331)
A2.6.1 语音自动识别.....	(331)
A2.6.2 语音的规则合成.....	(333)
参考文献	(334)
中英名词对照.....	(336)

第一章 实验语音学的过去、现在与未来

1.1 实验语音学是一门综合学科

实验语音学是传统语音学的一个分支,为探求语音的本质而发展的。早期并无所谓实验语音学,只是由于语言研究的需要,产生了语音实验的一些手段。为了揭示人类语音的真相,而采用了别的学科中的一些方法和器械,主要是利用医学上的器械,作些分析来补充听觉的不足。直到本世纪中期,电子设备、声学仪器、电子计算机等的发展,又加以从语音实验中发现了若干对语音现象新的认识,大大补充、刷新了传统语音学的内容。又因为语音的研究不仅限于语言学,凡与人类说话有关的许多学科,都直接、间接地需要一定的语音知识,于是相互渗透,使语音实验的范围越来越扩大、内容越来越丰富,就逐渐形成了一门综合学科。当然这门学科现在还无法定型,因为还有若干新学科可能会加入。不过迄今为止,它已成为与人类语言有关的许多学科中不可缺少的一个内容,当然,它的范围和内容的需要而各有侧重。一些先进国家的大学和科研机构,为了满足国防和生产上的需要,为了探索更深的语音现象和规律,也纷纷设立了实验语音学的专业,逐渐使这门学科有了明确的地位,既扩大了领域,又有了细致的分工,就使这门学问成为一门崭新的综合学科。

要把现代实验语音学的研究范围用短短的篇章说清楚,是不容易的。因为所研究的是人的语音,因此凡是与人的语言有关的方面都可以是它的对象。其次,它所用的实验方法又是五花八门,牵涉到好多学科,例如语音的生理分析,就得把人的发音生理器官及其功能一一摸清楚,而发音器官的大部分是隐藏在体内的,就得用许多直接和间接的测验工具来研究。语音的声学方面,关系到语音的四态:音色、音高、音强和音长,又得用通用的或特制的仪器来测验、纪录和分析。再次,人的语言和听觉、思维的种种关系,都对语音起着支配作用,于是言语知觉和言语神经系统的研究,又提到日程上来了。因此,凡是与言语有关现象的定性和定量分析,都可以是它的内容;而这些内容又多半是别的学科(例如医学、物理声学、电子学等)所具有的,所以实验语音学之成为综合学科,主要由这些因素决定了它的性质。

现在引一段一位英国著名语音学家P. Ladefoged和另一位语言学家的谈话,这段谈话表述了他从事语音研究三十年的体会。他说:“语音科学在语言学之内,但也在语言学之外”。他对自己所干的行当有较风趣的叙述。他说:“我一生中曾是个准生理学家,我搞过许多肌电实验;我又曾是个准心理学家,因为学了言语知觉一类的学问;我花了很多时间搞言语处理的计算机模型,因此也算得是一个准计算科学家;我也搞过解剖,分解言语器官,因此也算个解剖学者。我认为这都是语音学的一部分……”结论是,他是一位语音学家(Fromkin, 1985)。

由此可见,现代语音学综合了许多学科,都离不开实验的手段,因此,以前成为语音学分支的实验语音学,在今天已成为语音学的基本内容了。

本章打算扼要地叙述一下这门学科的发展过程,现在的进展情况,以及所存在的问题,来展望一下它的未来。

1.2 实验语音学发展的几个阶段

实验语音学的分期说法不一,过去曾有人(如伦敦大学学院的教授D、B、Fry)把它分为三期:第一期1900—1920年,第二期1920—1940年,第三期1940—1970年。这三期的大致分别是:第一期是萌芽时期;第二期有了生理医学上的仪器作研究分析,也有一些电子设备如示波器等;第三期则是声学仪器时代。不过自七十年代以后,各种科技成果突飞猛进,语音实验由粗到精(如时间以毫秒计,肌电以微伏计等等)、由表及里(如由发音部位,发音方法的分析进展到听觉神经乃至大脑神经的探索等等)又因电子计算机的大量应用于语音处理和研究,这门学科的发展几乎不到十年就有一次跃进,因此这三期已不能代表全貌了。

近来语音学和别的有关学科的协作日益密切,研究项目和范围日益扩展,实验语音学的发展和其它科学的进展也有并行的步骤。我们现在就把它分为五个时期。这五个时期新旧交叠,既承先启后,又不断更新。它的发展往往三年五载,就有明显的进展,我们这样分期,其界限也不是整齐的,只是为便于叙述而分成了五期。

1.2.1 第一期1920年以前

第一期为1920年以前,也可叫作“史前”时期。早期语音学家在语音的研究、分析中所用的工具就是脑子、耳朵以及自己的发音器官。师徒相传也就靠口授。当时有的语音学家也是实验语音学的先驱者。他们在实践中感觉到不学一点生理、物理知识,要搞语音是不行的。当时要把一个语音从连续的音流中分出来是很不容易的,但他们已认识到依靠仪器进行实验,对语言和言语的研究是很有作用的。(言语指speech,语言指Language。前者是人所能说的言语特点,不包括社会意义;语言则包括语义,语法,以及社会影响在内。)

实验语音学不仅要研究发音器官,而且要研究主宰发音器官的大脑和神经。但是在早期阶段还没有这方面的条件,限于科学技术的发展,当时实验语音学用的两个主要分析仪器就是浪纹计和假腭。浪纹计是一种原始的示波器,用以测算语言声调的音高频率,以及判断辅音的清浊、送气,鼻音的有无等。假腭(后来改进为腭位照相器)用以分析辅音的舌位。此外还有一些仪器如渐变音高管。测唇计、气流计等,多数是生理方面的器具和简单的语音模拟器。

这个阶段有这样几位语音学家比较重要。一个是E.W.Scripture,他著有《实验语音学基础》(Scripture, 1902),这是第一本成系统的实验语音学著作。他把当时所能应用的方法都作了叙述。还有一书是P.J.Rousselot的《实验语音学原理》(Rousselot, 1924),这两本书可以认为是最早的语音实验专著。

早在这以前,还有一件传为佳话的史实。举世闻名的Leonardo da Vinci(达·芬奇,意大利大画家1452—1519)因画素描对人体解剖有细致的研究,因而对发音器官的解剖也感兴趣。他曾留下一幅喉头解剖图和一幅发音器官纵面解剖图。这应该是最早的发音器官的实验解剖图了。

1.2.2 第二期1920—1940

实验语音学的第二阶段是1920年至1940年。在此阶段,欧洲同时出现了几个实验语音学的中心,他们不仅仅限于调查方言,而是要探索语音,如语言的声调、辅音的清浊、元音的

舌位等等真相。当时，德国的汉堡大学就是一个中心，这里偏重于研究语言学和言语病理学，代表人物是Panconcelli-Calzia；另一个中心在德国的波恩，代表人物是Manzerath，他第一个用X光照相来拍摄、观察舌位的活动，这在实验语音学上是一个大大的飞跃，它可以使我们看到口腔内部发音器官的动作。到1935年，他开始用X光电影摄影，研究连续的发音动作。他从影片中发现并解决了许多过去没想到的问题。

这一时期对发展语音学最热心的人物要数英国的D. Jones。他对发音很有研究，深信语音学家是离不开语音实验的。他曾根据X光照片来分析元音的舌位。还有美国的Bloomfield，他认为实验语音学技术的进一步发展，将来有可能用它来找出言语的生理现象、声学现象的规律，从而建立起它的音位系统来。

第二阶段还有一位比较有名的实验语音学家叫Zwirner，他是德国人，懂得医学，有一些新观点。他主张凡是研究语音必须首先把语音记录下来（那时还只有蜡筒和唱片的录音方法），即研究材料必须录成可以复核的材料。记录语音的方法在实验语音学也是经历了一个艰难的过程的。开始时用爱迪生发明的蜡筒刻音机，后来经历了灌制唱片、钢丝录音、磁带录音几个阶段，有声电影的胶片上录音，也是当时发明的，现在才有了盒式的磁带录音机）。Zwirner当时就注意到了语音的韵律关系，即音高、音强、音长的特征。

在这个阶段电话机已广泛应用了。由于电话要把人类的语音转变成电流，输送出去，所以产生了许多新的问题。电话听起来是否清晰，除了机械性能以外，还有一个传输线路的经济问题，要压缩语音的频带，这就牵涉到语音真实性的问题。有的电话听起来语音失真，如何改进，这就促进了语音声谱分析的研究。语音究竟有哪些要素？其中哪些是可以忽略的，哪些是必不可少的。缺少了它，语言就会失真甚至听不懂。这方面的研究工作做得最先进的是美国的Bell电话公司，他们在多年前就投入了很多力量，成立了专门的研究机构（Bell Laboratory）进行语音研究。从这里还培养出了许多后来从事实验语音学的工程师。如Fletcher，他首先奠定了听觉和语音之间量的关系，写了一本书叫《交谈中的说和听》（Fletcher, 1929），他举了许多用于语音分析的声学实验数据，这些实验结果为电话工程的频带压缩问题提供了数据。他不仅在美国，即在其他国家也很有影响，成为语言声学的前辈。

通讯工程的改进促进了实验语音学的发展，也还由于第二次世界大战的爆发而加速了。通讯方面要求提高电话线路的传输效率，在一对线路上容纳更多的人通话，这就要求在压缩频带上想办法。因而就需要寻找语言在传输中哪些频率是必要的，哪些是次要的。从而出现了多余率的概念。也就是为了提高电话线路的通讯效率，必须找到语音的“最小载讯单元”。实验证明，元音的最小载讯单元是两三个共振峰，辅音首先需要分别清浊。清音的声源来自口腔的阻碍部位，浊音的声源在声带。声源不同，传送频率的要求也就不一样。为了把频带压缩到最低限度并且让输送过去的信息能让对方听得懂，通讯工程师在这方面作了许多研究工作。

由于这些因素，就促使许多工程师走到了语音的实验研究方面来。在1920年以前，语音实验都是语音学家的事，而他们搞的实验语音学实际上只是语音学中的实验方法，从内容上说，还谈不上是“实验语音学”。20年代以后，工程师开始转到了实验语音学方面来，他们使语音学从口耳之学转变为仪器的语音学，使实验语音学得到了一个较大的发展。这一阶段在生理方面是X光照相的应用，声学方面是语音频谱分析手段的提高。还有一项比较重要的是高速照相在研究声带方面的研究。

1.2.3 第三期1940—1960

实验语音学的第三阶段是1940年至1960年，这二十年间可以说是一个蓬勃发展的时期。这时，开始有了较好的录音设备，X光电影也可以普遍投入使用了，灵敏的声波记录器也有了。1945年以后，美国把二次世界大战期间的一些声学设备投入民用，所以仪器、技术都有了较大改进。

这一时期，除了描写语音学外，音位学、实验心理学也都发展起来。这时的语音学家都是从某些地区的语言研究出发，进行语音实践，慢慢地产生了一些较好的方法和理论。

第三阶段的实验语音学的发展方向有三个方面：声学分析、言语产生研究、言语知觉研究。下面分别叙述。

a. 在声学分析方面：当时除了录音设备有了很大的改进，有所谓“高保真度”的录音与放音等之外，又有了各式各样的测量分析仪器，可以把听到的语音通过频率分析仪器，对语音的音色进行定量分析了。例如：用各种仪表来测量声压，用示波器来测定波形。还有用频谱分析仪的滤波器，把听到的语音，通过并列的或渐变的滤波器，把复合的语音波分析出谐波来测定特性频率。其中最有用处的要数语图仪，它可以把连续的动态语音测量出音色、音强、音高和音长来。为此，发明语图仪的工程师们，还出版了一本书叫《可见语言》，专门把语音的各种特征列出图谱来，以供按图识音，这种仪器本来是为聋人学音用的，但不久竟成为语音研究不可缺少的一本声谱典（Potter等，1947）。

这时由于语音分析方法的发展，使人们有可能深入地探测语音的各种特征，这些特征量化成为数码之后，就可以把它们合成后还原成为语音。于是各种语音合成设备相继问世。比较有成就的、对语音分析研究有决定性的贡献的就有：Dudley的声码器，Lieberman等的图形还音器，Fant的参量合成器等等。这一时期，可以说是言语声学分析和合成的繁荣时期。由于有了这些设备以及配合设备的要求，语音特性的奥秘也就揭开了不少。诸如一些至今还在应用的理论，如辅音的过渡音征和音轨，元音的噪音起始时间、声调与音色、音强之间的关系等等，都在这一阶段产生并得到了应用（Fant, 1968）。

这些工程师们对语音声学分析的成就，开始被一位美国的语言学家注意了，他就是M. Joos。M. Joos最早认真地把语图仪用于语音分析，并创造了一些言语声学的理论，写了一本《声学语音学》的书，作为美国《语言》杂志的一项单刊而发行（Joos, 1948）。他在书中除了用语图仪做了些英语句子的谱（当时只用了窄带滤波器，当然不够理想），对元音、辅音的声学特性有较详的分析，同时还提出语音的分割和分解的理论。他作为一个语言学家，较早地应用语图仪来分析语音，并提出语言学上至今还在探讨的问题，在当时语言学界中，这种见解是起了带头作用的。

b. 言语产生的研究方面：日本的千叶勉等，在1941年写了一本书叫《元音的性质和结构》，开始根据X光照相把口腔的形状作了许多截面，来研究元音的共振峰声学参数。这本书的影响很大，因为他的工作为日后言语产生的研究奠定了基础（Chiba等，1958）。千叶勉在《元音论》中除了元音的分析以外，还介绍了关于声带的声学特性。当时流行的说法，认为发一个音有三个过程：

声源→调制→辐射（物理过程）

声带→舌位→唇外（生理过程）

元音辅音的声学分析的研究都属于调制这一部分,而对声源部分研究得较少,因为发音时声带的活动很难看到,而且声带发出的声音必须通过口腔的调制以后才能听得到,而经过调制后听到的是综合音,而不是单纯的声带音。因此,声源的研究很困难。但是千叶勉在这方面做了不少工作。由于他的影响,许多人开始研究言语(语音)产生方面的问题。比较有名的有瑞典通讯工程师G. Fant。他在1957年写了一篇博士论文《言语产生的声学理论》,至今这本著作还被认为是比较全面的、有说服力的经典著作(Fant, 1960)。他不但把理论用电路模拟来证明了,而且还把语音中每个元音和辅音的特点,用声学参数来定量。他把千叶勉的口腔模型的截面数据理论,经过更多的实验而发展了。

这方面的研究中心,在美国有几个值得一提的单位,一个是哈斯金斯语言实验室;一个是贝尔电话公司的语音研究所;还有一个是麻省理工学院的语音研究中心(语言学家Jakobson一直在领导这个研究中心的工作,并同Fant合作过)。

他们用以研究言语产生的工具不外乎两种:一是喉镜,最早的喉镜就是医生的喉头镜,外加照相机或电影机;另一种是X光照相。前者用来研究声带的振动规律,后者用来研究声带的质量(声带的厚薄跟声音的质量有关)。

在言语产生方面还有人研究了声腔的形状和基频的强度、共振峰频率的宽度(带宽)以及鼻腔调制关系等问题。

当时哈斯金斯在这方面所做工作,现在还被大家肯定的是用肌电测试器研究语言和发音的关系。大家知道,人在发音前就有思想活动,大脑神经命令肌肉作什么动作,发什么音,这时肌肉就会产生弱电流。这里,还涉及一个问题,我们听音的感觉是连续的,还是象电影胶片那样一格一格地间断的?许多实验已经证明,我们听到的语音是整体的,而仪器分析语音都是离散的。可是,人脑在理解语言时却是前后相对照的。这一时期,实验语音学者还发现,在连续发音中,音跟音之间往往有重叠现象。因为人在发前一音时已为后一个音作了准备(意在声先),产生协同发音作用,

c. 言语知觉的研究:言语的知觉就是语音接收的问题。接收过程先通过外耳来接收声波,使耳膜振动,通过中耳、内耳再传达到神经、大脑(这方面工作的进展主要是在六十年代以后)。言语知觉的研究,除了从人耳的解剖入手以外,还可以从脑电波的测试以及脑神经的解剖来研究。这方面研究之所以逐渐开展起来,一个重要的原因就是当时信息论开始抬头了。信息论的创始人是Shannon,他想知道言语是怎样被感知、听懂了的?在什么情况下它是不能听懂的?这里指的是在什么环境下受什么样的干扰就无法收听了(例如受噪音的影响):那么,大脑究竟需要多少信息就可以听懂了?有人说人脑先天地有一种把语言音波进行编码的本能,同时又能解码。这种看法显然是受信息论的影响。从信息论来看,我们需要知道言语里究竟给了多少信息的码?大脑接受了其中多少码就可以听懂了?那么言语里是否有不必要的、多余的码呢?实验证明是确实有的,也就是言语中给予信息的码是有冗余率的。通讯工程师研究的最小载讯单元,就是设法排除言语中的冗余率,只传输有效的信号。

语言学家发现语音不是一个一个孤立的音素,而是由一连串的音节组成的,因而又研究言语的韵律。所谓言语的韵律特征,又称超音段特征,实际上它指的就是音色以外的其他三个要素:音高、音强、音长。我们在言语中听到的音总是有这三个要素,所以听起来有抑扬顿挫,轻重疾徐。这些超音段成分对言语的最小载讯单元是有影响的。比如说我们在听清了一个音节的音高特征以后就可以帮助我们理解音节的元音、辅音。可见,言语冗余率的研究

究,不能只限于元、辅音的分析。此后,研究韵律特征的文章就逐渐多了。在这方面应提到的是一位美国语音学家Lehiste。她写了一本书就叫《超音段》,专门用这个名词写书的人不多。她用的例子,多半是欧洲的语言。从汉语的立场看,这方面还有许多内容可以补充。

从四十年代到现在产生了许多新东西。这方面的成就收集在两本书里:一是Ilse Lehiste 编的《Readings in Acoustic Phonetics》(《声学语音学文选》);二是D. B. Fry 编的,内容相似,但收集的文章较新。(Fry 1976)。可以说这是研究言语声学必读的入门读物。

总结这一时期:(1)动态声谱仪(语图仪)出现;(2)磁带录音机改进;(3)理论方面,有关神经系统的理论出现,信息论抬头。音征的理论成熟,这种理论对频带压缩很有帮助,因为它对由于频带压缩而造成的信息上的损失可以起到补偿作用。这一时期也是言语声学实验的繁荣时期。

1.2.4 第四期1960—1980

本世纪的七十年代,电子计算机已经普遍应用。在语音处理方面,除了声学仪器之外,几乎无时无地都要用着它。因为从分析方面说,它能凭运算的惊人速度和存储量的不断增大,把语音的处理做到了“实时”和“入微”的程度。在语音合成上,它能随心所欲地输入和增减参量,以达到逼真肖人声的地步(当然,要真做到合成的词句和成篇的语言达到乱真的程度,还是未来的事)。对语音识别,也只有利用计算技术才能进行。这就是语音处理的三大内容:分析——合成——识别。这在后来就构成一个新的学科——言语工程学。

语音分析在本世纪初到七十年代已积累了大量的数据,总结出许多规律,为合成与识别打下了基础。不过这些材料用在认真的合成上,就还得修正,它离逼真还有一大段距离,原因是:(1)过去所分析的多半是离散的分段参量,用在连续的自然语言中就有“首尾”不能兼顾的缺点;(2)现有的数据,多半得自声谱分析,过去对有些细节常常被认作是冗余率而忽略了,谁知这些细节中有些是合成自然语音的有用规律。(3)听觉上的范畴往往和声谱显示的范畴有出入,如果孤立地用现成的参量去合成,而不根据听辨的标准去调整这些参量,是不会达到高水平的。这好似名菜的调味或名酒的配方,都得由品尝专家来鉴定。语音的合成也得由多数的听音人来审定。其它还有种种内容,如语音中语气的抑扬顿挫、规则合成应用语法的规律,最主要的是语音的多变性和韵律特征等等,都是合成方面所必需探索的。所以本世纪中大量的合成工作,始终未达能应用的地步,这些都是原因。

说到语音识别就又是一番天地了。它与合成的不同点在于:言语合成要求仿真,所用的参量既要求全,又要灵活(遇到连读音变,就得自动适应)。输出的声音既有共性,又得有个性(譬如要求它像男声,像女声,但不能像“机器”);而识别则相反,它要求能“听懂”各色人等的音而自行归纳为同一个音位、同一个词或同一句话。它对不同的话都得起反应。所以要让机器“听懂”某一个别发音人的有限几句话是容易的,而要它不限人、不限词去识别语言,就很难了。这一时期人们已发现这个难题,都在深入攻关。如果说上一时期懂得了连续语言的分析是和单音节的大不相同,在本时期则开始懂得了合成要能表达个性,而识别则要能适应共性。

由于计算机普遍应用于语音研究,对前一阶段人们关于声谱的认识,以及发音生理与声学的关系研究,有不少问题都提到了议事日程上来,例如言语分析与合成所必需的语音学知

识和仪器的运用,言语产生的动态模型,言语信号的有效声学特性,以及个人语音的识别,言语知觉的模型等等。这样,实验语音学的内容必须加以更新,而且文、理既要求合作攻关,也需要有一些读物使非理工专业的人能够接受。这时《实验语音学的当代文集》一书及时问世(Lass, 1976)。此外《仪器语音学导论》(Painter, 1979)也值得一提,此书虽不如前一本包含那么多新技术,但它介绍了不少常用的语音实验仪器及其用法。这时,有的语音学著作,如生理语音学家Catford的名著《语音学的基本问题》中也附有“仪器语音学”一章。由此可见语音实验方法在这一阶段的需要了。

1.2.5 第五期 1980—

在1983年的第十届国际语音科学会议上,不只一位专家作了总结,举出问题,公认为如何向那多变化的自然语音进军、是今后的主要任务。在大会上瑞典工程师兼语音学家Fant的中心发言,就提出“第五代语言学”的说法,并为今后开展工作定了调子。鉴于目前大家都热衷于要搞“第五代计算机”的浪潮,他认为单靠工程上的改进而没有语言学的知识,是会“触礁”(碰壁)的。“我们对作为语言代码的言语的认识仍然是很贫乏的。我们需要的是第五代的言语科学家,而不是第五代的计算机”。为此他用了“言语工程学”这个名词来概括这一学科,(我们可以解释为这是新一代实验语音学的广义名词。因为到这一时期分析工作已做得差不多了,大部分力量都在向这个目标投进),所要解决的是用什么样的代码去处理言语的可变量和不变量(主要是找出语音的不变性和多变性的规则)。今后的语音识别不能满足于仅仅作为模式匹配的样板(这样只会对言语理解得很少),而是要“能够处理大量词汇和连续言语,这才是一条面向语音学的途径。因为这是以识别最小单元为基础,这种最小单元可以是区别特征、音位、双音、音节或单词”,“就是要寻求语言代码,寻求信息单元与其语音实体之间的关系,以及由语种、方言、个人特点和不同语气等成句因素所引起的可变性”(简单地说就是“连读音变”)。他谈到言语感知的模型对解决识别是否有效的问题时说:“目前言语识别方案的主要障碍显然在于对付杂乱的声学数据的困难。我们不是损失了包含在瞬息变化中的一批载讯单元,就是在不了解言语代码的情况下实行最密集的采样,结果会找不到本质的信息,或者被一长串计算所欺骗了。”(Fant, 1984)。

Fant的发言还有一点特别重要的是,他极力主张文理合作,说工程师们应该学习语言学,而文科学生也应补习数理。他说:“语音学与言语工程学之间的紧密联系是不言而喻的。语音学已经计算机化了,并且已经有了高效的新仪器和先进的言语处理方法。……今天的语音学受到了新的重视,这是因为它在越来越重要的人类职能的研究中有着极其重大的作用。语音学的这种技术色彩还明显地表现在所有的言语研究实验室里,不管它们是属于语言学、心理学、还是医学部门”。“这种学科的大胆尝试在过去各独立的学科之间开辟了新的通道。我们可以发现文科院校的年轻人正在研究信号处理的数学问题,反过来,电工学系和计算机系的学生对语音学和语言学的研究也作了出色的贡献。”

他这一番话可以说是今后长远的方向。他这语重心长的号召不是空泛的,是来自他多少年的艰苦探索。我们只要回顾一下,就对实验语音学的发展有一个明确的概念了。

早在五十年代末期,那时的声学语音学虽已出现,而且已有相当一部分的语言学家如Rousselot、Grammont、Meyer、Durand等人都已兼有实验语音学知识而大力提倡了。但是还有相当多的传统语音学者对语音实验或提出过分的批评,或从不肯、也不会亲自动手。

这也难怪，因为那时的语音实验多只限于单个音素的分析，而忽视了连续语言；同时所用仪器（多数是生理的）又比较原始笨重，有的还会给发音人带来不适，或甚至有害，这样就更令人望而却步。自从语图仪问世以后，这个情况渐渐好转，因此在1957年的第八届国际语言学家会议上，Fant提出了一篇《现代言语声学研究的仪器与方法》，丹麦哥本哈根大学的Eli Fischer-Jørgensen也提出了《声学语音学的新技术对语言学的贡献》的论文，他们一从工程师的观点，一从语言学家的观点来发言，既用事实证明了语音实验对语言学研究的贡献，也指出了文理分道扬镳的缺点。由那一代到八十年代整整三十年，语音学家和工程学家才开始讨论要合流了。这是几十年来的教训，也是目前信息时代对语音研究革新的要求。

现在再看一看Fant所指的“语言代码”是些什么内容，它和实验语音学的发展有些什么关系。这里举美国著名言语工程学家Flanagan在接受瑞典Ericsson奖金时（1985），在授奖大会发言稿中的一个表为例：

表1.1 言语编码发展的里程碑

技 术	知 识 基 础	发 展 状 况
模拟	言语连续波的复制	技术成熟，1900
TASI	言语噪声的特性	已开展，1960
脉码调制 PCM (84kb/s)	取样与二元表达的理论	已开展，1962
ADPCM (32kb/s)	言语波取样的相互关系	在开展中，1981
自适应编码 (16—96kb/s)	噪音编码的听感特性	在探索研究中，1985
发音动作编码	言语产生及知觉的参数模型	在探索研究中，1985

上表指出言语编码的进度与言语知识的研究成果是有密切关系的。鉴于Fant所说的第五代语言学家尚未产生，因此第五代计算机也难以实现。所谓第五代计算机，事实上就是人工智能的机器，它的进度要取决于言语编码及模型的能否完善，能否适应动态语音的处理。这些问题的解决还是远期的事。英国的合成语音专家Holmes曾对言语工程的进展有较为全面的预测。现在把他在1983年第10届国际语音学会议上所作报告的内容归纳如下。

言语工程进展的短期和长期的预测（短期指10年以内，长期指10年以上）：

（1）言语自动合成

a. 短期预测：规则合成系统在单片微处理机上可以适时处理。并联共振峰共鸣器的言语产生模型取得了接近感知特征的效果。

b. 长期预测：拼写文章、句子以及正确的韵律的合成，还需要语言学知识和多水平的人工智能研究。

（2）言语自动识别

a. 短期预测：现有的孤立词识别很少运用语言学知识，其应用范围有限；而根据语言学规范的动态生成规则才是识别的理想样板。能合成协同调音的正确形式的方案正在讨论之中。

b. 长期预测：运用人工智能和更高级的自然语言模型尚待完成。机器成本要再降低。

（3）数字编码

a. 短期预测：8-16kb/s范围的自适应预测编码或自适应交换编码可望实现。不限说话人的言语信号数字编码还有困难。更低比特率的声码器对各种不同说话人的实时适应还待探

索。

b. 长期预测:把具有智能的人的语言学知识引入编码装置是有可能的。信息不超过200b/s可获得自然语音。

由此可知,在本世纪的七、八十年代里,语音学界有识之士已对这门学科的发展认真对待、通盘规划,对过去百家争鸣各搞一套的实验语音学,打算有步骤地,更具体地纳入“言语工程学”这个总目标的轨道之中了。今后凡是语音研究方面的成果,无论大小,只要具备科学价值,都会给言语模型的理解增添希望。不过这个任务正如上文所说,前几阶段已对言语声波的理解做了大量工作,但要达到能理解语言的模型,其进度还是极其缓慢的。

1.3 今天的语音学

八十年代的实验语音学到现在已过了将近七年了。在信息时代的今天,一些新兴学科每年都以加速度的进程发展着,实验语音学也是如此。现在试把八十年代初期和后期语音学的研究范围比较一下,并就言语工程学最近的进展情况对比一下八十年代初期人们所估计的言语工程学的远景,应该是有意义的。

代表语音学国际水平的一个学术会议已于1987年8月在苏联的塔林召开,这就是国际语音科学会议的第十一届会议,参加者有50个国家,共交论文1000多篇。这些论文中的内容可归纳成80多个课题,其中有关实验语音学的课题超过半数。现在摘要选列于下,从中可看出这门学科在今天的一些趋势及所包括的范围。

(1) 言语产生:言语产生的一般研究,发音器官的控制,咽喉控制,协同发音作用,声道与声学特征的关系。

(2) 言语声学:言语信号分析方法,共振峰的提取,言语的编码,言语声学模型,不同环境中的言语声。

(3) 言语知觉:研究方法,知觉模型,中枢神经感知机制,感知的程序,知觉外围分析,作为感知征兆的声学特征,共振峰与频谱峰值的感知,成句言语感知速度,成章的感知程序及效果。

(4) 言语工程学:

合成:文语合成,发音器官动作合成,高质量的言语合成,合成语言的自然度和可懂度,言语合成及识别的应用。

识别:言语识别算法,不分人的言语识别,言语识别的规整处理,语音的识别,词的识别,连续语言识别,语音的切分与音位标号。

言语处理:言语信号处理的工作站,语音数据库,言语的增音问题。

(5) 其它有关语音实验的课题:言语残疾的研究和矫治,残疾言语机能的补偿器具,歌唱的声门动作。

从以上几十个课题及每一课题的论文篇数和质量,与上一届(1983年)会议相比,可以看出几种迹象:a.从发音到听音都十分注重声学模型,而知觉模型是较新的课题;b.言语知觉的比重大大增加,尤其是成句、成章的连续语音的感知研究已占一定地位;c.言语工程学已单列一项,其中语音识别的论文篇数已超过合成的篇数;d.语音的数据库已有普遍建立的趋势。