

汉语语音实验研究在中国

林茂灿

摘要 本文首先阐述中国语言学家在本世纪二三十年代，在汉语声调理论和实验研究方面所取得的突破性辉煌成就；然后介绍五六十年代中国内地语音学工作者，用实验方法研究汉语语音所取得的进展；七十年代末以来，汉语语音实验研究在中国内地，台湾和香港等地得到了蓬勃发展，中国学者在揭示包括人耳难以听到的汉语语音现象，尤其是普通话语音现象方面取得了前所未有的成果。本文最后指出，今后要深入研究朗读的和自然说的语句及篇章中的语音现象，探讨语音与语法之间的关系，为语言学和言语工程的发展作贡献。

本文分本世纪二三十年代，五六十年代和七十年代末以来的三个时期，介绍我国学者用各种实验手段和方法研究汉语语音，尤其是研究普通话语音走国的道路和取得的成就，最后谈谈我个人对汉语语音学今后发展的看法。

一、二三十年代 - - 辉煌的开端

吴宗济先生经常对我们讲述罗常培先生在本世纪三十年代大力提倡用实验手段研究汉语语音的事迹。罗先生提出，“解决积疑可咨实验以补听官之缺。凡举声韵现象，皆可据生理物理讲明。从兹致力，庶积事实求是，信而有征矣(罗常培, 1956)。”罗先生的这段话表述了耳听口仿，语音实验，与语音研究之间的关系。

刘复先生首先用浪纹计研究汉语声调，得到了声调的音高 F_0 曲线，1924 年出版了《四声实验录》；他发明的“乙一声调推断尺”和“乙二声调推断尺”，为汉语声调研究提供了测量手段；他通乐律，在当时的北京大学建立了“语音乐律实验室”，为我国语音实验研究奠定了基础。白涤洲是刘复先生的弟子，写了“关中入声”，《关中声调实验录》以及有关北京话声调的论文。王力先生 1927 年在巴黎大学完成的博士论文《博白方音实验录》，是用浪纹记记录的(王力, 1980)。

赵元任先生几乎与刘复先生发表《四声实验录》同时，在《清华学报》上发表文章，精辟地阐述了汉语声调就是音高频率(语音基频)的变化，他用简单乐器和渐变音高管来模拟声调的音高，确定声调的调值(吴宗济, 1996)；赵先生 1930 年发表了他的声调符号系统(Chao, 1930)，为中国语言的声调研究奠定了基础；赵先生提出了一系列关于汉语语调的观点(Chao, 1932, 1933)；他的“语音音位的非唯一性”(1934)一文是举世公认的音位学经典之作。他担任当时(南京)中央研究院历史语言研究所语言组主任期间，建立了一个很完备的语音实验室。本世纪二三十年代，我国在语音学理论及语音实验研究取得的成就，在国际上是处于先进行列的。不幸的是，抗日战争爆发了，研究部门和大学西迁，研究工作被迫中断。

二、五六十年代--重新奋起

1950年6月间,中国科学院语言研究所(现改名为中国社会科学院语言研究所)成立。原北京大学文科研究所“语音乐律实验室”并入语言研究所,成立了语音实验小组。这个小组有成套的丹麦B.K声学分析仪器,1963年添了美国Kay语图仪。为适应当时通讯事业发展的要求,着重对普通话语音进行声学和生理分析,出版了《普通话发音图谱》(周殿福,吴宗济,1968)。这本发音图谱用X光照相和颞位照相方法,把普通话全部辅音及元音发音部位分别拍摄成照片,再据以绘制成图形,它不仅对语音教学有用,而且对语音发音研究有参考价值。有吴宗济和周殿福两位先生主持,到1965年为止,写成了《普通话语音实验录》,它包括“总论”,“实验方法”,“元音”,“辅音”和“声调”等五卷。这部实验录虽然未能出版,但其主要成果先后都发表了,如“普通话元音和辅音频谱及共振峰测量”(吴宗济,1964),“音高显示器与普通话声调特性”(林茂灿,1965),“实验语音学知识讲话”(吴宗济等,1979)和“普通话元音的生理测量”(鲍怀翘,1984)。我国声学界也研究汉语语音现象(包紫薇,1959;张家录,1964)。我国语音学工作者正在奋力工作,以缩短与国际先进水平差距之时,中国内地开展了“文化大革命”,语音实验研究也被迫停了下来。值得庆幸的是,人员未散,仪器保存良好,“拨乱反正”前后语音研究立即得以恢复。

三、七十年代末以来--蓬勃发展

1978年,中国社会科学院语言研究所在语音实验小组的基础上成立语音研究室。同年八九月间,中国语音学家第一次出席第九届国际语音科学会议,吴宗济教授被选为国际语音科学会议常务理事。1979年夏,美国华裔语言学家王士元(William S-Y. Wang)教授应邀在北京大学讲授“实验语音学”课程,并作“语言的发生”等四次讲座;八十年代,国际著名语言学家赵元任先生三次应邀回国作学术演讲,并亲自发音录制国际音标;在国外的华裔语言学家先后回国作学术报告,这些学术活动对我国语音学的发展起了推动作用。

北京大学1979年建立了由林焘先生主持的语音实验室,用实验方法研究普通话语音,并开设“实验语音学”课程,培养本科生和研究生。中国社会科学院民族研究所于1986年建立了语音实验室,研究我国少数民族语音。随后,南开大学、北京师范大学、华东师范大学等大学中文系相继建立了语音实验室。90年代中期,上海师范大学语言研究所建立了语音实验室。

在台湾,中央研究院历史语言研究所,中正大学语言学研究所,台湾师范大学英语系,交通大学外国语文学系,清华大学外语系,高雄师范学院特教系等开展了语音的实验。

香港中文大学于80年代初开展了吴语和粤语及普通话语音的研究,90年代初在香港城市大学正式成立了语音实验室。

七十年代末以来,我国汉语语音实验研究的特点是积极面向言语工程,不少研究课题是根据言语工程发展的需要来选择的,不少语音学家运用语音学和语言学知识参与研究汉语言语识别系统,积极研究汉语语音合成系统,如“A Database of Mandarin Speech and Its Application”(Tseng, 1996),“言语合成和识别语料库的句型设计”(Zu, 1997),“Mandarin Speech Input / Output Technique for Chinese Computer --- The State of the Arts”(Lee and Tseng, 1997),“Acoustic Parameters and Phonological Rules of a Text-to-Speech System for Chinese”(Zhang, 1988),“An Acoustic-Phonetic Oriented System for Synthesizing Chinese”(Yang and Xu, 1988),“普通话音节的SIFS框架模型及其合成实现”(杨顺安, 1990),“汉语文语转换系统的研究和实现”(蔡莲红等, 1994),“计算机汉语口语系统的设计与实现”(吕士楠等, 1996),“Automatic

Generation of Prosodic Structure for High Quality Mandarin Speech Synthesis” (Chou, Tseng and Lee, 1996) 和 “Isolated Mandarin Syllable recognition with Limited Training Data Specially Considering the Effect of Tones” (Lee, Lee and Tseng, 1977) 等。

A Perception Study of Tones in Cantonese (Chan, 1974), 《北京语音实验录》(林焘、王理嘉, 1985), 《普通话单音节语图册》(吴宗济, 1987), 《实验语音学概要》(吴宗济、林茂灿, 1989), An Acoustic-Phonetic Study on Tones in Mandarin Chinese (Tseng, 1990), The Prosody of Mandarin Chinese (Shen, 1990) 等著作, 部分地反映了我国语音学工作者运用各种实验手段进行语音研究取得的成果。《语言学论丛》(1983) 第十一辑刊登了王士元教授在北京大学讲授“实验语音学”课程和所作“语言的发生”等四次讲座的内容。

我国语音学工作者这些年来主要研究汉语语音的声学表现, 也探讨其感知和生理问题; 着重研究普通话语音现象, 不过, 近年来对吴语和闽语(包括台湾话) 语音研究日益活跃, 成果颇丰。下面从音段和超音段两方面介绍其主要成果。

(一) 语音音段特性

二合元音和三合元音音节听起来是两个和三个独立的元音组成的, 其实中间存在着声学过渡部分(杨顺安, 1986; 曹剑芬, 1995)。对二合和三合元音音节作感知实验表明, 其信息并不是均匀地分布于其时间历程, 它主要存在于其时间历程中间的一段区域内(贺宁基, 1985; 祖漪清, 1994)。谢国平研究了普通话 VN 音节的逆向协同发音及鼻音的感知, 音节尾/n/和/n/的产生和感知(Tse, 1990, 1992)。对带鼻音韵尾音节来说, 其元音向鼻韵尾的共振峰过渡是区分鼻音的主要征兆(林茂灿、颜景助, 1994)。对不送气清塞音音节作声学分析看到, 塞音向后面元音的第二共振峰(F2)过渡能把/p/和/t/分开, 而第三共振峰(F3)过渡能把/k/和/p/分开(颜景助, 1995)。从此看到, 音节内共振峰过渡是音节信息的不可缺少部分, 而由于协同发音作用引起的音节与音节之间的共振峰过渡(陈肖霞, 1997), 对音节信息虽然不重要, 但却影响语音的自然度。曾进兴和曹峰铭的研究结果支持了“音节在汉语知觉过程扮演了极重要角色”(Tseng and Tsao, 1994)。

自然语言中各语音单元之间的连接和分界, 称为音联。“普通话音联的声学特性”(许毅, 1986)一文提出, 汉语普通话语流中有四个等级音联: 闭音联, 音节音联, 节奏音联和停顿音联。不同等级的句法结构边界与音节时域, 附近音节的韵律参数及边界处停顿时长之间有一定关系(杨玉芳, 1997)。Shen (1993)研究了用韵律解决语句表层结构上的歧义。

儿化和儿化韵是普通话的一个特点。“儿”这个音, 从发音上说是所谓“卷舌元音”, 其声学特征是 F3 频率大大降低, 向 F2 靠拢(王理嘉、贺宁基, 1985; 廖荣容、石锋, 1987; 孙国华, 1994)。

舌尖元音是汉语的一个重要特点。实验数据表明, 发舌尖元音时, 舌的中线呈马鞍形, 实际上有两个舌高点, 第一个在舌尖部分, 第二个在后部。[ɿ]的第一高点比[ʅ]的靠前, 第二舌高点又比[ʅ]靠后(鲍怀翘, 1984)。

关于普通话 r 声母有不同看法, 通常实验也看到它有不同变体, 但从音位学角度考虑, 用 [ʀ] 或 [ʀ̥] 来标记都是可以的(廖荣容、石锋, 1987)。

X 光录象带《普通话发音器官动作特性》(鲍怀翘等, 1985), 是开展生理研究的基础, 从中可以看到一般单音节儿化音节里舌位的连续运动, 以及唇形的连续变化。

吴语, 粤语和台湾话语音的实验研究日益受到重视。从声学分析数据看到, 上海话里高闭元音[i]和[u]及舌尖元音[ɿ]的清化是受到声母, 声调, 声调模式, 试验音节在词中位置和语速等五项语音环境因素所决定。舌尖元音最容易清化, 其次是[i], 再次是[u](徐云扬, 1990)。通过实验研究看到, 吴语辅音清浊对立是跟声门的不同调节相联系的; 气声发声类型(breathy

phonation)产生了浊辅音(Cao and Maddieson, 1992)。对苏州话浊音声母作分析后认为, 其清浊声母对立的区别在不同位置上可以由不同的声学特征来表现(石锋, 1983, 1985)。Pan (1997)作感知实验后认为, 台湾话双唇浊塞音和浊鼻音的语音差别, 本地受试者对之不敏感。深入研究香港粤语中声母及韵母辅音的变化和变异。

(二) 语音超音段特性

1. 声调方面: 在单念的普通话字音 F_0 曲线上, 除了由大体相当于音系描写的高低升降之外, 还有“调型段”和“降尾段”(林茂灿, 1965; Tseng, 1990)。

从感知试验结果看, 字调 F_0 模式对四声辨认率大约为 95%; 在有字音音质条件下, 仅靠振幅或时长是无法辨认四声的, 但时长对上声和去声自然度的影响要比对阴平和阳平辨认率的影响大(林茂灿, 1988), 尽管在单念时上声较长, 去声较短。不过, 把单念的普通话字音里的共振峰和基频都去除掉, 只保留原有的振幅变化, 受试者还能够区分阳平, 上声和去声(Whalen and Xu, 1992)。Tseng (1990)在包含 465 音节的 50 个简单叙述句自然说的言语(spontaneous speech)材料中看到, 只有 36.1% 音节具有如单念那样的 F_0 曲线, 语句中音节 F_0 曲线多数缺少单念字调的特点; 对从语句截取出来的音节, 说普通话的人要判断其声调也很困难。Wang & Chen (1994)指出, 当语速每秒大于 3.5 到 4.5 个音节时, 语句中音节 F_0 曲线发生了畸变, 而说话慢时, 语句中字音 F_0 跟其单念时的大致一样。谢国平从言语产生的角度研究普通话上声变调(1995), 研究用耳语说普通话词的感知问题(1996)。

感知试验表明, 普通话以及福州话声调信息主要存在于主要元音上(林茂灿, 1995)。Xu (1992)看到了, 在普通话字音中并非各个部分 F_0 都明确地给出其原始声调信息, 音节中部之后部分对阳平、上声和去声才有较好的辨别作用。

Tsay & Sawusch (1993)看到, 声调语言中元音共振峰随声调的变化, 比非声调语言中元音随音高的变化来得快。

普通话后音节为非清辅音声母的两音节间存在着 F_0 过渡: 在大于 100 毫秒的时间内, F_0 变化了 40-60Hz。 F_0 过渡之所以没能被听出来, 是因为它不发生在主要元音上(林茂灿, 1996; Lin, 1996)。

Shen (1990)发现普通话声调协同发音作用跟音段协同发音一样, 其性质是同化的, 而且是双向的。对普通话正常重音字组作声调协同发音研究的结果认为, 声调协同发音作用是单向的, 或由于顺向作用引起, 或由于逆向作用引起, 声调协同发音引起的 F_0 搅动具有一定模式: 声调协同发音对各音节声调起点和终点引起的搅动, 一般地说, 要大于这些点处元音固有 F_0 差异(林茂灿, 1993; Lin and Yan, 1993)。Xu (1997)对普通话声调协同发音的方向及性质作了进一步研究, 看到顺向协同发音作用多半是同化的, 而逆向协同发音作用多半是异化的。Xu (1994)还看到, 在话语中, 由于协同发音引起的声调变化程度, 跟其所在语境性质有关: 邻近的声调调值一致即语境相容时, 声调变化相对小; 如果邻近声调调值不一致即语境冲突时, 声调变化就大, 甚至可以改变声调方向。他让受试者听辨去除了话语的语义内容而保留原有声调信息的信号, 听辨结果为: 对语境相容的字调, 不管其语境存在与否, 都有很好的辨认率; 对语境冲突的字调, 只当语境存在时, 才有正确的辨认, 如果其原有语境不存在, 辨认率就降到猜测水平之下; 他还看到在声调感知中, 听者会补偿由于协同发音引起的变化。

普通话连读变调研究, 主要涉及上声连读问题。陆致极对此提出“变调域”概念: 在同一级的变调域内, 变调规则应该从内层开始自左向右连续使用。当变调的这种结构层次与语句节奏不一致时, 则变调规则随语句节奏走(转引自王理嘉, 1993)。沈炯(1994)认为, 节奏处理决定音节间的松紧关系, 只有在节奏关系为紧时上声连读才会变调; 因此逆向变调是以顺向组合为条件的; 从语言的树型关系可以推算出上声的连读类型, 节奏上的高层次使它们形成不同的调

型组合。

台湾话声调与时长及强度有如下关系：高调音节的总强度比中调的大；中调音节的总强度比低调的大，而高调和中调之间的时长差别不明显；高降调的总强度比低升调的大，而低升调却有较长的时长(Zee, 1978)。台湾话不同声调对音节的元音音质有影响，固然这种影响对不同元音和不同说话人不是成系统的(Zee, 1980)。在台湾话中，话语末了音节的 F_0 降低，其时长拉长，而在短语末了这种情况就不明显；逆向声调协同发音影响 F_0 ，但不影响时长；后面声调对曲拱调形有同化作用； F_0 范围一般不受前后声调影响，尽管也发现了一些跟受试者有关的变化；用感知试验研究了台湾话声调协同发音能被感知的程度(Peng, 1997)。

在北京话，重庆话，广东话和上海话的 CV 音节中，不送气双唇塞音的口内气压大小与其后接元音的声调 F_0 之间有正相关关系(Zee, 1978)。

Zee & Maddieson (1980)根据实验结果认为，上海话连读变调是由第一音节声调决定的。徐云扬(1988)采用 Pulleyblank 的普遍连接规约去解释如何得到上海话复合词上的表层声调模式。

Zee (1994)对中古汉语浊塞音和清塞擦音声母在清化后分化为送气和不送气的历史过程提出生理解释，他认为在实际语音中，不送气的清塞音或清塞擦音后面立即产生低的声调，从生理上说是困难的；他指出，送气清塞音和清塞擦音中的送气，是造成后面元音的低声调的一个重要条件。Shi (1998)在汉语和少数民族语音材料中看到，送气音使声调降低，并探讨了相关变化及其生理解释。

2. 轻重音方面：轻声时长比相应带调音节时长约缩短一半，读轻声所用能量显著减少；轻声音节里的元音尤其是主要元音向央元音方向移动；轻声音节 F_0 曲线的形成，是由于它跟前面重读音节发生声调协同发音所致(林茂灿，颜景助，1980, 1990)。听辨试验结果表明，强度对分辨轻重音的作用很小；时长在听辨轻重音时起了非常重要作用(林焘，1985)。从协同发音和语音筒缩理论看，轻声音节是弱读音节(林茂灿，颜景助，1990)。与弱读音节即轻声音节相对立的是重读音节。重音有正常重音和对比重音之分。正常重音和对比重音都有其自己的声学表现(林茂灿，颜景助，孙国华，1984；颜景助，林茂灿，1988；林茂灿，1988, 1989；林茂灿，颜景助，1990)。林焘先生在“探讨北京话轻音性质的初步实验”一文中指出，“汉语是有声调语言，音高的变化在带音音节中已经起了非常重要的声调辨义作用，而在分辨轻重音时是以时长的变化为主的，这样，音高和时长在语言中所起的作用就有了明确的分工。”《现代汉语》(北京大学中文系现代汉语教研室，1993)指出，“汉语里轻重音的概念跟西方语言很不相同。西方语言着重在重音的概念，而汉语恰恰相反，着重在轻音的概念。”

3. 语调研究：赵元任先生是研究汉语语调的先驱，他在三十年代就开始研究语调，提出了一系列重要观点。如语调和声调相结合的音高旋律有四种，语调和字调之间的关系是代数和，是小浪加在大浪上，声调调域具有橡皮带效应等(Chao, 1932, 1933, 1968)。

吴宗济先生对句调的研究，是从研究普通话语句中声调变化入手的，提出了一套变调规律，作为分析语调变化的基础(吴宗济，1982)，制定了一些语调规则(Wu, 1988)，提出基本调群单元的移调处理观点(Wu, 1992)，和一套韵律特征的变化规则(吴宗济，1996)。

沈炯 (1985, 1992, 1994a, 1994b)认为，声调和语调是两个相对独立的音高体系，具有不同的声学表现，语调是有一系列声调音域组织起来的音高调节形式，研究语调最好把声调音域分成两个音区：高音区和低音区，把那些高音点和低音点分别连起来，得到全句的高音线和低音线，高音断层主要与语势重音有关，低音断层与节奏重音有关。他提出汉语语调有调冠，调头，调核和调尾四部分。劲松(1992)则认为，北京话语调表现在句子末一个节奏单元中重读音节上的音高变化。

郑秋豫根据她的语调实验数据提出以下看法(Tseng, 1990): (1)国语语句的下倾作用(declination effect)确实存在, 但仅适用于一小部分实验句; (2)下倾理论不仅预测能力弱, 而且根据普遍性它的主张也太夸张; (3)呼吸群理论(breath-group theory)对描述语调更有道理; (4)句法和语调之间确实有相互作用; (5)对者两种理论所不能解释的语调模式, 不应忽视; (6)自发说出的连续言语以及朗读言语中特殊变化, 对现有的语调理论都提出很多困难; (7)下倾理论对表征话语效应(discourse effect)可能比表征句子现象(sentence phenomenon)更合适。张月琴研究国语 yes-no 问句和台湾任对它的感知(Chang, 1998)。

沈晓楠认为, 研究语调的最有效办法是先研究言语的最基本(intonation minimum of speech) (Shen, 1990b), 即先研究叙述句和疑问句。她用调子(tune)来描述叙述句和疑问句。她认为, 不管语句终点 F_0 是高还是低, 疑问句的起点肯定高于肯定句。调子 1 属于肯定句, 它始于中调, 逐渐移向中高调, 中高调为其最高值, 然后下降到中低音域, 它为其终点; 疑问句始于中高调, 逐渐移向高调, 高调为其最高值, 然后下降, 如果其终点为高音域或中高音域, 就是调子 2, 它属于无标记疑问句和带“吗”疑问句, 如果其终点为低音域, 跟肯定句终点一样, 则为调子 3, 它属于“A - not - A”疑问句, 选择疑问句和特殊疑问句。

4. 时长研究: “汉语普通话辅音时长分析”(齐士钤, 张家录, 1982)一文介绍了对普通话 22 个辅音时长的测量结果。冯隆(1985)在语句框架中, 得到了声母、韵母及声调的时长。在音节内, 各成分时长有不完全的补偿关系(石锋, 1995)。对两音节实验表明, 它有一定的时间结构, 它主要是以不同重音类型, 音节位置, 句法环境, 音节音系结构和音段的语音性质为条件的(曹剑芬, 1991)。

四、今后的研究方向

从以上介绍看到, 关于汉语语调的看法还不够一致, 还没有得到一个定量的汉语语调模型。郑秋豫和沈晓楠分别考虑了语调, 轻重音和声调三者之间的关系, 沈炯注意到 F_0 的不同作用。我以为, 我们应在近期内在汉语语调研究方面有个大的突破。

在研究音节内语音现象的同时, 应大力研究(朗读的和自然说的)语句乃至篇章中的语音现象, 包括研究韵律结构, 从而掌握汉语语句乃至篇章是如何由词及短语所组成, 以及在这种“组合”过程中, 音段及超音段是如何变化的, 以大力促进我国言语工程的发展, 以繁荣我国语言学事业。

参考文献

- 鲍怀翘等 (1985) 《普通话发音器官动作特性》, 北京: 北京语言学院出版社。
鲍怀翘 (1984) 普通话单元音的生理分析, 《中国语文》第 2 期。
包紫薇 (1959) 汉语元音频谱的初步分析, 《南京大学学报》第 4 期。
蔡莲红, 魏华武 (1994) 汉语文语转换系统的研究和应用, 《应用声学》第 13 卷, 第 6 期。
曹剑芬 (1994) 普通话二合元音韵母/ao/与/ou/的对比分析, 《应用声学》第 13 卷, 第 2 期。
陈肖霞 (1997) 普通话协同发音研究, 《中国语文》第 5 期。
董少文 (1955) 《语音常识》, 北京: 文化教育出版社。
冯隆 (1985) 北京话语流中声韵调的时长, 载于林焘, 王理嘉(1985), 131-195 页。
劲松 (1992) 北京话的语气和语调, 《中国语文》第 2 期。
廖荣容, 石锋 (1987) 汉语 r 声母音质的实验研究, 《语言研究》第 2 期。

- 林茂灿 (1965) 音高显示器与普通话声调声学特性, 《声学学报》第 2 卷, 第 2 期。
- 林茂灿 (1988) 普通话声调的声学性质与知觉征兆, 《中国语文》第 3 期。
- 林茂灿 (1995) 普通话声调分布区的知觉研究, 《声学学报》第 20 卷, 第 6 期。
- 林茂灿 (1996) 普通话两音节间 F_0 过渡及其感知, 《中国社会科学》第 4 期。
- 林茂灿, 颜景助 (1980) 北京话轻声的声学性质, 《方言》第 3 期。
- 林茂灿, 颜景助 (1990) 普通话轻声与轻重音, 《语言教学与研究》第 3 期。
- 林茂灿, 颜景助 (1992) 普通话四音节词和短语中声调协同发音模式, 《声学学报》第 17 卷, 第 6 期。
- 林茂灿, 颜景助 (1994) 普通话带鼻尾零声母音节中的协同发音, 《应用声学》第 13 卷, 第 1 期。
- 林茂灿, 颜景助, 孙国华 (1984) 北京话两字组正常重音的初步实验研究, 《方言》第 1 期。
- 林焘 (1963) 北京话的连读音变, 《北京大学学报》第 6 期。
- 林焘 (1985) 探讨北京话轻音性质的初步实验, 载于林焘, 王理嘉(1985), 1-26 页。
- 林焘, 王理嘉 主编 (1985) 《北京语音实验录》, 北京: 北京大学出版社。
- 林焘, 王理嘉 (1992) 《语音学教程》, 北京: 北京大学出版社。
- 罗常培 (1956) 《汉语音韵学导论》, 北京: 中华书局。
- 吕士楠, 初敏, 贺琳, 陆亚民, 李晓光 (1996) 计算机汉语口语系统的设计与实现, 软件学报。
- 齐士铃, 张家录 (1982) 汉语普通话辅音时长分析, 《声学学报》第 7 卷, 第 2 期。
- 沈炯 (1985) 北京话声调的音域和语调, 载于林焘, 王理嘉(1985), 1-26 页。
- 沈炯 (1992) 汉语语调刍议, 《语文建设》第 4 期。
- 沈炯 (1994) 汉语语调构造和类型, 《方言》第 3 期。
- 沈炯 (1994) 汉语语势重音的音理, 《语文研究》第 3 期。
- 沈炯 (1994) 北京话上声连读的调型组合与节奏形式, 《中国语文》第 4 期。
- 石锋 (1983) 苏州话浊塞音的声学分析, 《语言研究》第 1 期。
- 石锋 (199?) 苏州话浊音声母的再分析, 载于《吴语研究》徐云扬主编, 269-270 页。香港: 香港中文大学新亚书院。
- 石锋 (1995) 关于音节内部时长的几个问题, 《中国语言学学报》第 6 期。
- 孙国华 (1994) 普通话卷舌元音的声学模式及感知, 《应用声学》第 13 卷, 第 4 期。
- 陶燠民 (1930) 《闽语研究》, 中央研究院历史语言研究所集刊 1 本 4 分; (1956), 北京: 科学出版社。
- 王力 (1980) 《中国语言学史》, 太原: 山西人民出版社。
- 王理嘉 (1993) 四十年来汉语语音研究综述, 载于《中国语文研究四十年论文集》(刘坚, 侯精一主编), 175-180 页。北京: 商务印书馆。
- 王理嘉, 贺宁基 (1985) 北京话儿化韵的听辨实验和声学分析, 载于林焘, 王理嘉(1985), 27-72 页。
- 吴宗济 (1965) 普通话元音和辅音频谱特性及共振峰测量, 《声学学报》第 1 卷, 第 1 期。
- 吴宗济 (1979) 实验语音学知识讲话, 《中国语文》第 1-12 期。
- 吴宗济 (1982) 普通话语句中的声调变化, 《中国语文》第 6 期。
- 吴宗济 (1985) 普通话三字组变调规律, 《中国语言学报》第 2 期。
- 吴宗济 主编 (1987) 《普通话单音节语图册》, 北京: 中国社会科学出版社。
- 吴宗济 (1996a) 为改进合成普通话口语自然度所需韵律特征规则的设计, 载于《计算机时

- 代的汉语和汉字研究》(罗振声, 袁毓林主编), 355-365 页。北京: 清华大学出版社。
- 吴宗济 (1996b) 赵元任先生在汉语声调研究上的贡献, 《清华大学学报》第 13 卷, 第 3 期。
- 吴宗济, 林茂灿 主编 (1989) 《实验语音学概要》, 北京: 高等教育出版社。
- 徐云扬 (1988) 自主音段音韵学理论与上海话声调变读, 《中国语文》第 5 期。
- 徐云扬 (1990) 上海话元音清化的研究, 《国外语言学》第 3 期。
- 许毅 (1986) 普通话音联的声学性质, 《中国语文》第 1 期。
- 杨顺安 (1986) 复合元音的指数式动态模型及其在合成中的应用, 《语言研究》第 2 期。
- 杨顺安 (1990) 普通话音节的 SIFS 框架模型及其合成实现, 第一届全国语音识别学术报告及展示论文集。
- 杨玉芳 (1997) 句法边界的韵律学表现, 《声学学报》第 22 卷, 第 6 期。
- 颜景助, 林茂灿 (1988) 北京话三字组重音的声学表现, 《方言》第 3 期。
- 颜景助 (1994-1995) 普通话清塞音声母音节中元音共振峰过渡模式及其协同发音研究, 《语音研究报告》, 41-53 页, 中国社会科学院语言研究所。
- 赵元任 (1934) The non-uniqueness of phonemic solutions of phoneitic system, 中央研究院历史语言研究所集刊 4 本 4 分; (1992), 载于《中国现代语言学的开拓和发展---赵元任语言学文选》。北京: 清华大学出版社。
- 周殿福, 吴宗济 (1963) 《普通话发音图谱》, 北京: 商务印书馆。
- 祖漪清 (1994) 汉语普通话三合元音音节的最小时间感知域, 《应用声学》第 13 卷, 第 3 期。
- 张家录 (1964) 从对话中摘出的词句的可懂度, 《声学学报》第 2 期。
- Cao, Jianfen and Ian Maddieson (1992) An exploration of phonation types in Wu dialects of Chinese. *Journal of Phonetics* 20:77-92.
- Chao, Yuan-Ren (1930) A system of tone letters. *Le Maitre Phonetique* 30:24-27.
- Chao, Yuan-Ren (1932) A preliminary study of English intonation (with American variants) and its Chinese equivalents. 蔡元培先生六十五岁庆祝论文集, 105-156.
- Chao, Yuan-Ren (1933) Tone and intonation in Chinese (中国话的字调和语调), 中央研究院历史语言研究所集刊, 4 本 2 分。
- Chou, F. C., Tseng, Chiu-yu and Lee L. S. (1996) Automatic generation of prosodic structure for high quality Mandarin Speech Synthesis. In *Proceedings of the 4th International Conference on Spoken Language Processing*, 1624-1627.
- Fok, Yuenyuen Chan (1974) A perceptual study of tones in Cantonese. Center of Asian Studies, University of Hong Kong Press.
- Tsay, Jane and James R. Squwusch (1993) The interaction of F_0 and vowel quality in tonal and nontonal languages. *Journal of the Acoustic Society of America* 95 (5).
- Lee, L. S. and Tseng Chiu-yu (1997) Isolated Mandarin syllable recognition with limited training data specially considering the effect of tones. In *Proceedings of IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*, 5 (1).
- Lee, L. S. and Tseng Chiu-yu (1987) Mandarin speech input / output technique for Chinese computer --- the state of the art. In *Proceedings of the National Science Council Part A: Physical science and Engineering*, 11 (4).
- Lin, Maocan and Yan Jingzhu (1993) Tonal coarticulation patterns in quadrisyllabic word and

- phrases with normal stress of Standard Chinese. *Chinese Journal of Acoustics* 12 (3).
- Lin, Maocan (1995) A perceptual study on the domain of tones in Standard Chinese. *Chinese Journal of Acoustics* 14 (4).
- Lin, Maocan (1996) On the intersyllabic F_0 transition and its perception in Standard Chinese. *Chinese Journal of Social Sciences* 17 (4).
- Pan, Ho-hsin (1997) The salience of nasal cues to the perception of Taiwanese voiced stops and nasal. *Chicago Linguistics Society III*.
- Peng, Shu-hui (1997) Production and perception of Taiwanese tones in different tonal and prosodic contexts. *Journal of Phonetics* 25:371-440.
- Shen, Xiaonan (1990a) Tonal coarticulation in Mandarin. *Journal of Phonetics* 18 (3).
- Shen, Xiaonan (1990b) *The prosody of Mandarin in Chinese*. Berkeley: University of California Press
- Shen, Xiaonan (1993) The use of prosody in disambiguation in Mandarin. *Phonetica* 50:261-271.
- Shi, Feng (1998) The influence of aspiration on tones. *Journal of Chinese Linguistics* 26 (1).
- Tse, Kwow-ping (1990) Anticipatory coarticulation and the perception of nasality in VN syllables. *Studies in English Literature and Linguistics* 16:211-222.
- Tse, Kwow-ping (1992) Production and perception of syllable final [n] and []. *Studies in English Literature and Linguistics* 18:143-156.
- Tse, Kwow-ping (1995) Third tone sandhi in Mandarin Chinese. *Studies in English Literature and Linguistics* 21:175-194.
- Tse, Kwow-ping (1996) Perception of word tones in whispered speech, *Teaching and Research* 18:227-244.
- Tseng, C. H. and Tsao F. M. (1994) The gap inferiority effect in identifying Mandarin Chinese. *Journal of National Chung-Cheng University, Section II*, 5 (1):181-204.
- Tseng, Chiu-yu (1990) *An acoustic-phonetic study on tones in Mandarin Chinese*. Special Publication No. 94. Institute of History & Philology. Academia Sinica (Taipei).
- Whalen, D. H. and Xu Yi (1992) Information for Mandarin tones in the amplitude and in brief segments. *Phonetica* 49:25-47.
- Wang, Yih-Ru and Chen Sin-hong (1994) Tone recognition of continuous Mandarin speech assisted with prosodic information. *Journal of the Acoustical Society of America* 96 (5):2637-2654.
- Xu, Yi (1994) Production and perception of coarticulated tones. *Journal of the Acoustical Society of America* 95:2240-2253.
- Xu, Yi (1997) Contextual tonal variations in Mandarin. *Journal of Phonetics* 25:61-83.
- Yang, Shun'an and Xu Yi (1988) An acoustic-phonetic oriented system of synthesizing Chinese. *Speech Communication* 7:317-325.
- Zee, Eric (1978) Duration and intensity as correlates of F_0 . *Journal of Phonetics* 6: 213-220.
- Zee, Eric (1980) Tone and vowel quality. *Journal of Phonetics* 8:247-258.
- Zee, Eric (1994) A theory of the bifurcation of the Middle Chinese voiced syllable-initial stops and affricates into aspirates and unaspirates after devoicing. *《中国境内语言与语言学》* 2:173-201.
- Zee, Eric and Ian Maddieson (1980) *Tones and tone sandhi in Shanghai: phonetic evidence and*

phonological analysis. *Glossa: an International Journal of Linguistics* 14:45-88.

Zhang, Jialu (1986) Acoustic parameters and phonological rules of a text-speech for Chinese. In *Proceedings of ICASSP*, 2023-2036.

Zu, Yiqing (1997) Sentence design for speech synthesis and speech recognition database by phonetic rules, *EuroSpeech' 97*, Vol. 2, 743-746.