

◇ 研究报告 ◇

辨析声调的标度和归类方法 ——纪念赵元任先生标调理论发表100年

吕士楠[†]

(中国科学院声学研究所 北京 100190)

摘要: 一个世纪前,赵元任先生发表了汉语声调标调理论,开创了汉语声调的定量研究,在国际上享有崇高的荣誉。新中国成立后,汉语语音学的研究蓬勃发展,汉语声调五度定调问题备受关注。20世纪20、30年代我国语言学家在美国的研究成果被介绍到国内。但不得不指出,在实际的调值计算中,没有准确遵循赵元任先生的理论,而是用简单的音高分段归类的方法代替“五度标调”。该文简要回顾20世纪20、30年代声调音高测量和数值化研究的历史,辨析汉语声调五度标调和归类的区别。并为赵元任先生的标调理论补充了计算公式,使标调理论得以准确实施。同时展望标调理论不仅在汉语的声调研究,而且在语调的研究中的应用远景。

关键词: 声调;标度;归类

中图法分类号: H014 文献标识码: A 文章编号: 1000-310X(2024)01-0058-06

DOI: 10.11684/j.issn.1000-310X.2024.01.007

Distinguish between calibration and classification of tone —To commemorate Mr. Zhao Yuanren standard tone theory published for 100 years

LYU Shinan

(Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract: A century ago, Mr. Zhao Yuanren published the theory of standard tone, initiated the quantitative research of Chinese tone, and enjoyed high honors in the world. After the founding of the People's Republic of China, the research of Chinese phonetics developed vigorously, and the problem of setting Chinese tone attracted much attention. The research results of Chinese linguists in the United States in the 1920s and 1930s were introduced to China. However, it has to be pointed out that in the actual value adjustment calculation, it does not accurately follow Mr. Zhao Yuanren's theory, but uses the simple method of pitch segment classification, instead of "five degree standard tone". This paper briefly reviews the history of the pitch measurement and numerical research of tones in the 1920s and 1930s, and distinguishes the difference between the calibration and classification of Chinese five-degree tone. It supplements the calculation formula for Mr. Zhao Yuanren's standard theory, so that the standard theory can be accurately implemented. At the same time, looking forward to the application of standard tone theory is not only in the study of Chinese tone, but also in the study of intonation.

Keywords: Tone; Calibration; Classification

2023-08-23 收稿; 2023-11-13 定稿

作者简介: 吕士楠 (1937-), 男, 浙江新昌人, 研究员, 研究方向: 语言声学, 次声学。

[†] 通信作者 E-mail: lu_shinan@163.com

0 引言

言语的基本结构包括词汇和句法两部分。在语言分析和归纳中,词汇和边界可以通过一套区别特征在音段底层输入项目中做出标注。而且,词汇是有限的,也已得到较为成功的处理。而句法,即音系规则,是当前语言学关注的热点。近来人们十分关注乔姆斯基的语言学理论。他强调言语中的重音分配,创造性地提出用以构建言语音高重音轮廓的生成转换循环理论^[1]。因此,音高的标度成为言语研究的焦点之一。早在乔姆斯基提出英语的声音模型近半个世纪前,我国语言学家赵元任、刘复和白涤洲等已经关注到音高的标度问题。除了音高在普通语言学中重要地位外,还由于汉语是一种声调语言,为音高的研究提供了得天独厚的优越条件,汉语声调研究成绩斐然。赵元任先生在1922年对汉语声调进行了音高测量,在此基础上提出了声调“五度标调”法。他提出将音域在对数坐标上四等分后,标为1、2、3、4、5五个调值,即众所周知的、在国际上享有盛誉的声调“五度标调”法。赵元任先生根据实际标调结果将北京话的四声的调值归结为阴平5-5、阳平3-5、上声2-1-4、去声5-1。随后,1934年,白涤洲先生提出将说话人的音高音域等分成5段,由低到高,将第一段中的音高称为1度;第二段为2度;第三段为3度;…,提出一种声调值“归类”的计算方法。

本文旨在介绍老前辈的声调研究成果,为赵元任先生的五度标调法补充一个计算公式,以全面彰显赵元任先生声调理论的要义。本文对“标调”和“归类”两种汉语声调五度标调法做出辨析,指出“标调”比“归类”更科学,即更符合言语实际过程和更适合语言研究和言语工程技术上的应用。

1 汉语普通话声调调值的“五度标调”法

赵元任先生是一位语言和音乐天才,审音和辨音的能力远超常人,能说多国语言、多种汉语方言,而且他还是一位研究自然科学出身的语言学家,精通自然科学哲理和掌握科学仪器实验方法。1922年,赵元任先生发表了世界上最早的汉语声调科学测量结果^[2]。图1是他设计的实验装置^[2]。图中T是一个笛子;K是吹音的口子;S是活塞,上下移动S,可以改变笛声的音高;C是与活塞联动的笔尖,用

以将笛声的音高变化记录在事先标有五线谱音调调阶的记录纸上。

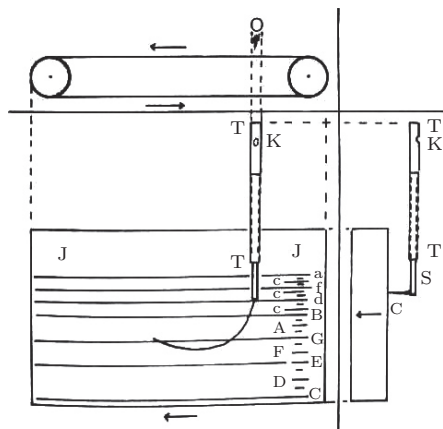


图1 赵元任先生的音高测量装置^[2]

Fig. 1 Mr. Zhao Yuanren's pitch measurement device^[2]

实验时要求被试反复聆听实验样品的字调,听准了,并牢记于心。然后开始在K处吹笛发声,通过进退活塞,使笛声确似人发的字调的声音。这时得到画在纸上的曲线就是那个字调的音高曲线。将它改画到平常的五线谱上,如图2所示^[2]。

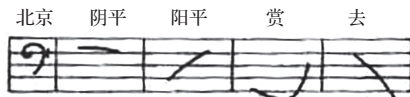


图2 赵元任先生测得的北京话四声音高曲线^[2]

Fig. 2 Mr. Zhao Yuanren measured the four voices of Beijing dialect pitch curve^[2]

在此基础上,赵元任先生提出了五度标调理论:每一个标调字母由一条垂直的参照线构成,其高度为 n ,附着一一条表示声调的简化的时间音高曲线,全程等分为4段,这样就有了5个点,编号为1、2、3、4、5,分别对应于低、半低、中、半高、高^[3]。

按照这个声调五度制的理论,可以将声调调值 D 的计算公式表示为

$$D = 1 + \frac{\lg f_x - \lg f_{\min}}{\lg f_{\max} - \lg f_{\min}} \times 4, \quad (1)$$

其中: D 的单位为度; f_x 、 $f_{\max}$ 和 $f_{\min}$ 分别表示音高的测量值、音高域的最大值和最小值,单位Hz。取对数是因为音高感知与基频的对数成比例,这是在音乐中早已为学术界普遍接受的结论。“ $\times 4$ ”体现标度理论中“全程分为4段”的核心思想;“ $1+$ ”表示基数是1。

若: $f_x = f_{\min}$,

则: $D = 1 + 0 \times 4 = 1$.

若: $f_x = f_{\max}$,

则: $D = 1 + 1 \times 4 = 5$.

即 f_x 在 $f_{\min} \sim f_{\max}$ 域中变化时, 如果 D 取整数, 将得到 1、2、3、4、5 等 5 个单位为度的调值。

图 3 为汉语语音合成声调模型^[4-5]。它是由一位发音人, 在嵌板句朗读汉语/a/、/o/、/e/、/i/、/u/、/ü/六个单韵母得到不同声调的音高平均曲线, 通过公式(1)标调的结果。横坐标为归一化时长, 左纵坐标为五度标调值, 右纵坐标表示对应的基频值。

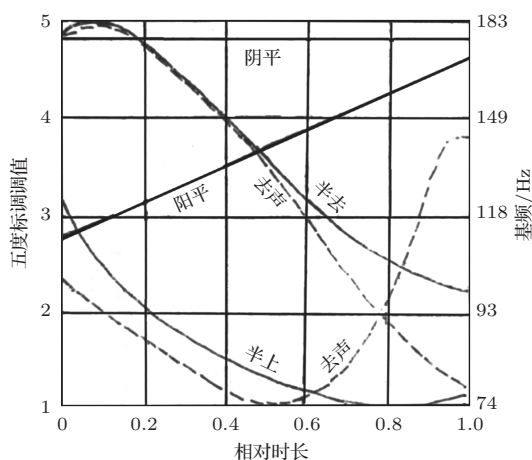


图 3 汉语语音合成声调模型^[4-5]

Fig. 3 Chinese speech synthesis tone model^[4-5]

由图 3 可见阴平的调值为 5-5, 阳平为 3-5, 上声为 2-1-4, 半上为 3-1, 去声为 5-1, 半去为 5-2。中国科学院声学研究所研制的 KX-1 合成器合成的汉语声调与传统调值符合。此外, 这个标调计算准确到小数点后两位, 使其呈现为平滑的曲线, 以满足言语工程技术上的特殊需要。因此, 公式(1)不仅完美地用数学语言表达了赵元任先生的汉语声调标调理论, 也拓展了声调的五度标度法的内涵。

2 汉语普通话声调调值的五度“归类”法

20 世纪 30 年代, 除了赵元任先生外, 刘复和白涤洲先生也在研究声调。刘复先生制作了声调推断尺, 白涤洲先生利用它推断出字调不同时间的音高, 获得北京话四声的音高曲线。如果用乐谱写下来, 得到图 4^[6]。

这项研究中的汉语四声, 是与赵元任先生的观点契合的, 但在如何标定四声的理念上迥然不同。白涤洲先生将说话人从最低到最高的音高域五等

分, 例如他在从音阶 c 到 c' 的 12 个半音的音高域中, 使音高每升高 2.4 半音, 声调值增加 1 度。由此将表示为半音的不同音高转换为声调的五度值, 如图 5 所示。



图 4 白涤洲先生测得的北京话四声^[6]

Fig. 4 Mr. Bai Dizhou measured the four voices of Beijing dialect^[6]

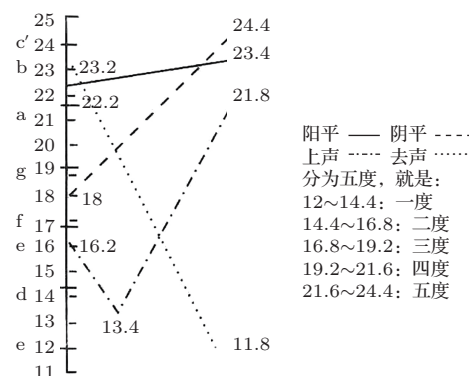


图 5 白涤洲先生的声调调值“归类”法^[6]

Fig. 5 Mr. Bai Dizhou's "classification" of tone^[6]

由于这种确定声调五度值的方法简单直观、容易实施, 林焘和王理嘉^[7], 以及曹剑芬^[8]详细推荐了这个算法。该方法成为近一个世纪以来, 汉语声调实验研究中普遍采用的方法。文献^[7]增订版^[9]引入了五度值的上述 D 计算公式(1)和下述 T 计算公式(2), 删除了某一方言最低频率为 100 Hz、最高为 300 Hz 的调域对数值五等分的五度归类方法的阐述。

1986 年, 石锋^[10]提出了 T 值的汉语声调五度值新的计算方法, T 值的计算公式为

$$T = \frac{\lg x - \lg b}{\lg a - \lg b} \times 5, \quad (2)$$

式(2)中, a 为调域的上限, b 为调域的下限, x 为 a 和 b 之间的测量点。他还给出了天津话不同声调的音高曲线, 例如阴平调如图 6 所示^[10]。

图 6 中粗线表示单字音声调; 细线表示阴平做前字时的声调, a、b、c、d、o 表示后字分别为阴、阳、上、去、轻声。由公式(2)和图 5 可以发现, T 有 0、1、2、3、4、5 六个调值, 与赵元任先生的五度标调理论迥然不同。因此在 1991 年, 石锋^[11]把 T 值改称为

参考值,对定调法作出如下补充:“(T)从0到1之间大体可以看作五度值的1度;1到2之间看作2度;2到3之间看作3度;3到4之间看作4度;4到5之间看作5度”。由此可见,T值定调法就是白涤洲先生的五度“归类”法。

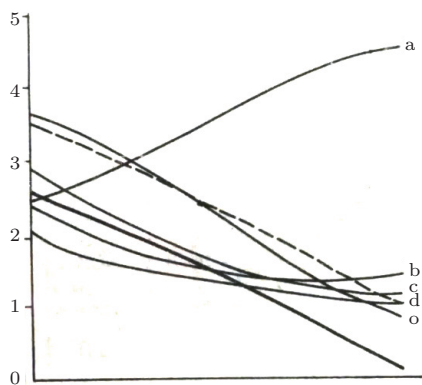


图6 天津话阴平调的声调曲线^[10]

Fig. 6 The first tone pitch curve of Tianjin dialect^[10]

3 讨论

罗常培等^[6]同时介绍了赵元任和白涤洲两位先生的声调研究,但笔触的力度不同。对白涤洲先生的工作,书中阐述为“北京话的基本调型”,声调研究的进展;而将赵元任先生的工作,推崇为“五度记调”法,一种具有开创性的汉语声调理论。

汉语声调五度标调法的重大理论价值,在于它是符合所有物理量度量规则的,为语音音高度量最先建立的度量制度。它又与一般的绝对值度量制度不同,立足于语音的感知是音高的相互比较的结果,赵元任先生的五度标调方法是一种相对值的标度。众所周知,建立一种度量制度首先必须要有明确的参照点。如测量温度,标准大气压下纯净水的冰点和沸点是可靠的参考点,科学上将冰点定义为0°,沸点定义为100°。中间分为100等分,其间隔就是温度变化1°的定义。那么对于声调,即音高的测量,这个类似温度测量中“冰点”和“沸点”点又在哪里?确实是很难确定的。赵元任先生没有拘泥于音高的绝对值,在声调标调理论中,他提出将最低的音高定义为1度,最高的音高定义为5度,用五度区分来应对音高的相对关系,度值表示为最低音高的倍数。这好比一杆没有定盘心的五分度木杆称,用来称量一堆有限量的重物,事先将称量最轻的重物时的称纽位置标为1,最重位置标注为5。中间四等分,分界点分别标为1、2、3、4、5。在称量实物时,若称纽落

在2上,表示它是最轻质量的2倍;落在3是3倍。只要称杆足够长,配上合适的秤砣,相对质量的测量可以达到要求的精度。在声调测量中,音高的相对值往往比绝对值更有用,这点与音乐和歌唱的情形不同。赵元任先生热爱西洋音乐,从音乐中吸取精华,但又不拘泥于音乐,提出独特的相对音高的声调标调理论,因此得到国际语言学界的广泛赞誉,直至今日也是值得中国人骄傲的事。

2004年,朱晓农^[12]对声调的归一化标调的意义和方法做了详细的阐述。他归纳出6种具有普遍的科学价值的声调归一化算法。这里引述其中的“对数半音差比(Ratio of logarithmic semitone distances, LD)”算法^[13]。他给出归一化公式:

$$d_i = \frac{\lg X_i - \lg X_L}{\lg X_H - \lg X_L} \quad (3)$$

其中, X_i 是声调音高值(Hz), X_H 和 X_L 分别是说话人的音高域的上限和下限。比拟赵元任先生的说法,LD是“……,全程等分为一段,这样就有了两个点,编号为0、1,分别对应于低、高”。要将LD转换成赵先生的五度,首先要将它分为4段,即 $4 \times d_i$,编号从1开始,所以要+1,最后得到 $D = 1 + 4 \times d_i$ 。因此,赵元任先生提出的方法,属于“域值规范化”方法,是一种量值标度的普遍方法。但赵元任先生的理论比LD早得多。

虽然“标调”和“归类”都可以从一群音高实测数据中归纳出声调的五度值。但其结果不完全相同。图7表示在半音标尺上一个倍频程的音高标注结果。标尺上方双向实线箭头表示调值和它的域,在“标调”中 D 值就是调值,在“归类”中分别列出 T 值和调值,虚线双箭头表示它和“标调”音高重合的部分。

由图7可见, D 值1度和5度的标志点分别居于标尺的起点和终点,表示不包含比1小的值,也不包含比5大的值,忠实反映赵元任先生理论假设的前提。1度和5度的数值空间自然比2度、3度、4度的小了一半。当今,以音高上限和下限做基准的音高归一化算法并非罕见。并且,在上述自然界测量标准大气压下纯净水的温度的例子中可以发现,只要是水,能测到的最低的温度是0℃,低于0℃的是冰,不是水。所以在温度计上显示的0℃水只占有0℃~0.4℃的0.5℃数值空间,同样水温的上限100℃也只有0.5℃的数值空间,而不是其他的 $(n \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 的1℃数值空间。所以,刻度值蕴含

的数值空间不同是无可非议的。相反,对于 T 值,如图7所示,“五度”被均等地分配为各占2.4个半音,1度被标注在1.2半音处,无端地多出小于1度

的0~1.2个半音的空间;高端同样出现高于5度的10.8~12个半音空间,都是违背赵先生创立理论的本意的。

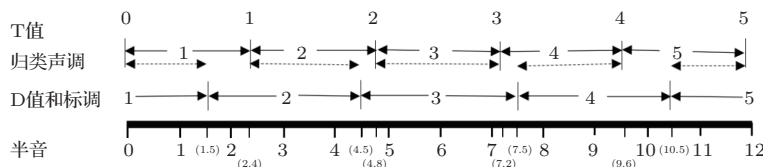


图7 一个倍频程中“标调”和“归类”不同调值音高分布及其重叠域

Fig. 7 The “calibration” and “classified” pitch distribution and their overlapping fields in an octave

由图7可见,虽然两种调值大部分是重合的,但在两端有显著的差异。“归类”对“标度”的符合度见图8。“归类”应该是“标度”的近似算法。

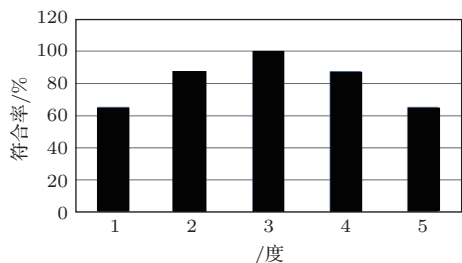


图8 “归类”和“标调”调值的符合率

Fig. 8 Conformance rate of pitch value between “calibration” and “classified”

因此,既不能把在国内语音研究中长期使用的“归类”定调看成是赵元任先生的五度标度,也不应否定“归类”算法。由于“归类”直观、简单,受到实验语音学家的青睐,在已有的许多声调研究中做出了重要的贡献,这是一个重要的历史事实,必须得到尊重。

客观地说,赵元任先生的“标调”更科学,更具普适性。在实际应用中和“归类”比较起来,至少有两个优点:其一是准确。对于“归类”认为每一类中成员是无区别,没有进一步细分的条件。虽然在声调感知,即音系学的调位研究中,五度足以满足要求,但就声调的语音特征,粗犷的5个等级是远远不够的。公式(1)在汉语四声的研究中,将 D 表示成整数,是5度值,但它可以是带小数点的实数,如图3的汉语合成的声调模型, D 值准确到小数点后两位,保证声调模型是光滑的曲线,而不是在5个级别中变化的折线,以避免合成语音中的“卡拉声”。其二是灵活。对于“归类”,五度是定死了的,只能应用在孤立音节的声调分析和辨认中,“标调”恰不然。

在汉语语调的研究中,一个特殊的问题是声调对语调的干扰,因为汉语语句的音高曲线是声调和语调共同作用的结果。根据赵元任先生提出的大波浪加小波浪理论,声调曲线应该是“骑”在语调曲线上的,但要将它们分离,技术上遇到不少困难。沈炯^[14]在处理这个问题时,反其道而行之,不是“分离”声调和语调,而是把四声分别聚合到不同句型的同一个句子中,观察四声聚合的功能语句中,不同语法功能、不同位置的音节的声调调域的上下限和宽度的变化。图9表示一个九音节陈述句(组一)的5位(2男3女)发音人的四声聚合音高测量结果的实例。纵坐标表示音高值,是半音标度的;横坐标上面的方框表示音节的排列,其中的尖括号中的数字表示序号,框上下的数字表示音高的上下限,框内的数字表示域宽。他通过对6组不同句法结构的四声聚合语句的音高数据分析和观察,得到语调是由有一连串声调音域组织起来的音高调节形式,语调对声调音域有调节作用,上限的调节变化与语意的加强有关,下限与节奏相关的重要结论。

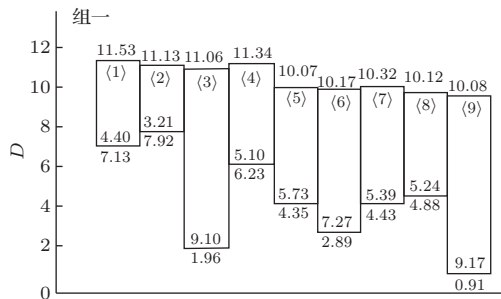


图9 陈述句四声聚合综合音高测量结果^[14]

Fig. 9 Results of pitch measurement of declarative sentence in the form of four-tone aggregation^[14]

本文不更多讨论声调聚合研究的贡献,更关心的是沈炯的音高标度。他引用的是音乐上以半音为

单位的音阶“标度”方法,但有两点区别:一是改变了以256 Hz为中央C的基准,将0点分别设置为男声为55 Hz、女声为80 Hz,使得音域不同的音高可以放到同一个坐标轴上比较。二是将调值标出小数点来,将音高的变化表示得更细致。它与“归类”迥然不同,但与“标调”有异曲同工之妙。设想如果将赵元任先生的声调标度理论应用到汉语语调的研究,即以四声孤立音节发音得到的音域上下限为基础,标注自然语言的音高曲线,根据吴宗济先生^[15]的研究结果,预期在词一级的音高变化可以保持在声调五度的范围中。在语调短语中超出五度的属于语调变化。语调的“音高下倾”可能造成音高曲线低于1度;“重音”、“焦点”和“语气”等可能引起音高高于5度。笔者认为通过对这些泛五度的音高精细数据的分析,进一步考察声调和语调交互作用,是一个自然语言中,回避四声聚合困难,非常值得研究的问题。

4 结论

综上所述,鉴于赵元任先生对言语中的音高现象的深邃洞察力,和对语言学,尤其是语调和声调理论的卓越贡献,本文推崇他的标调理论,辨析汉语声调两种定调方法的差异。由于“归类”方法直观、简单,受到实验语音学家的青睐,在已有的许多声调研究中做出了重要的贡献。本文尊重这一历史事实,无意排斥“归类”。但为推进我国语音学和言语工程技术的发展,衷心地推荐在赵元任先生的理论指导下推演的声调的计算公式。“标调”的优点,不仅可以得到汉语四声范围内的细粒度的调值,也可望延拓到四声以外汉语语调的研究。

致谢 李子殷老师鼓励我完成文稿,他阅读了全文,提出了许多宝贵的修改意见,在此表示衷心感谢!

参 考 文 献

- [1] Chomsky N, Halle M. The sound pattern of English[M]. New York: Harper & Row, 1968: 15-23.
- [2] 赵元任. 赵元任语言学论文集[M]. 北京: 商务印书馆, 2002: 27-36.
- [3] 赵元任. 赵元任语言学论文集[M]. 北京: 商务印书馆, 2002: 734-749.
- [4] 吕士楠, 初敏, 许洁萍, 等. 汉语语音合成原理和技术[M]. 北京: 科学出版社, 2012: 158-160.
- [5] 张家騷, 吕士楠, 齐士铃, 等. 汉语文语转换系统的研究[J]. 信号处理, 1989, 5(1): 1-7.
Zhang Jialu, Lyu Shinan, Qi Shiqian, et al. Study on Chinese text to speech system[J]. Signal Processing, 1989, 5(1): 1-7.
- [6] 罗常培, 王均. 普通语音学纲要[M]. 北京: 商务印书馆, 1981: 115-144.
- [7] 林焘, 王理嘉. 语音学教程[M]. 北京: 北京大学出版社, 1992: 143-144.
- [8] 曹剑芬. 现代语音基础知识[M]. 北京: 人民教育出版社, 1990: 176-177.
- [9] 林焘, 王理嘉. 语音学教程[M]. 王韞佳, 王理嘉, 增订. 增订版. 北京: 北京大学出版社, 2013: 140.
- [10] 石锋. 语音学探微[M]. 北京: 北京大学出版社, 1990: 66-83.
- [11] 石锋. 语音格局[M]. 北京: 商务印书馆, 2008: 108.
- [12] 朱晓农. 基频归一化——如何处理声调的随机差异?[J]. 语言科学, 2004, 3(2): 3-19.
Zhu Xiaonong. F0 normalization: How to deal with between-speaker tonal variations?[J]. Linguistic Sciences, 2004, 3(2): 3-19.
- [13] Baken R J. Clinical measurement of speech and voice[M]. Boston: College-Hill Press, 1987: 127.
- [14] 沈炯. 北京话的声调和语调[M]//林焘, 王理嘉. 北京语音实验录. 北京: 北京大学出版社, 1985: 73-130.
- [15] 吴宗济. 吴宗济语言学论文集[M]. 北京: 商务印书馆, 2004.