



xRecorder(熊子瑜<sup>[4]</sup>, 2017), 麦克风型号为 Samson C01U Pro, 录音采样率为 22 050 Hz, 采样精度为 16 bit, 采用单声道录制, 每个实验字单独保存为一个声音文件, 存储格式为 WAV。录音时, 电脑屏幕上随机出现实验字, 发音人有充足的时间辨识并发音。录音时还有一名通城赣语母语者进行协助, 提示发音人按照地道说法并以日常语速和音量进行正确发音, 以确保每一条录音准确、有效。xRecorder 软件具有重录覆盖功能, 发音人发音失误时可以立即改正。

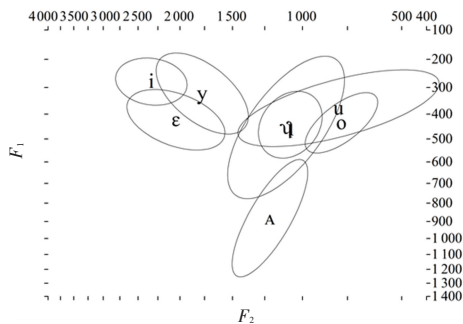
在进行数据提取前, 使用语音处理软件 Praat 对收集到的录音进行人工标注。标注时依据语图中元音共振峰的走向并结合人工听音, 标注出元音的有效部分。该项工作由一名有经验的标注者完成。元音标注结束后, 使用由南开大学文学院冉启斌老师编写的 Praat 脚本等比例提取出每个元音的 30 个第一共振峰 ( $F_1$ ) 和第二共振峰 ( $F_2$ ) 值, 共振峰值的单位是赫兹(Hz)。此后, 基于这些数据进行制图和分析。

## 2 结果与讨论

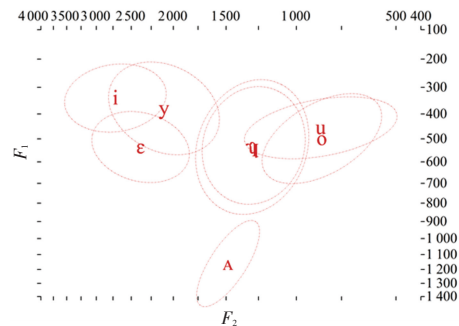
### 2.1 声学元音图

根据  $F_1$ 、 $F_2$  所绘制的元音分布图叫做声学元音图。 $F_1$ 、 $F_2$  与元音发音时的舌位、唇形的圆展密切相关。舌位越高,  $F_1$  值越小, 舌位越低,  $F_1$  值越大; 舌位越靠前,  $F_2$  值越大, 舌位越靠后,  $F_2$  值越小。圆唇作用可以使  $F_2$  值降低(石锋<sup>[5]</sup>, 2002)。Joos<sup>[6]</sup> 认为, 虽然不同的人发出的同一个元音的共振峰频率会有所不同, 但是每个人发出的各个元音在声学元音图上的相对位置是基本稳定的。人的大脑正是通过这种相对位置来感知语音的。因而, 每个人的声学元音图看起来各不相同, 但是对同一个人来讲, 其元音内部是成系统的。本文基于提取出的共振峰数据, 使用由上海大学文学院凌锋老师编写的脚本绘制出通城赣语的声学元音图, 如图 1 所示。为符合人耳听感, 声学元音图的横纵坐标刻度不是均匀分布的。

图 1 中, 实线为通城赣语中男性的元音分布情况, 虚线为女性的元音分布情况。图 1 中的椭圆为置信椭圆(confidence ellipses), 是基于该性别所有发音人的共振峰数据绘制的。置信椭圆的方向显示元音的分布方向, 置信椭圆的大小显示元音的分布范围, 为了简洁美观, 图 1 中仅在椭圆圆心标出元音对应的国际音标。



(a) 男性的声学元音分布



(b) 女性的声学元音分布

图 1 通城赣语男性与女性的声学元音图(基于赫兹)

Fig. 1 Acoustic vowel chart of the male and the female in Tongcheng Gan dialect (based on Hz)

由图 1 可见, 女性的元音分布总体上比男性更低、更靠前, 也就是说女性的  $F_1$  和  $F_2$  都要比男性大, 这是由生理因素造成的, 与既有的认识相符。由于女性的声道比男性更短, 吴宗济等人<sup>[7]</sup> 根据声道的传递特性分析表明, 女性共振峰频率要高于男性。具体来看, 还有几个问题值得注意。通城赣语中[ɥ]虽然是 2 个区别意义的音位, 但二者在声学元音图上的重合度较高, 这一点上男女具有一致性。但是, 女性的[ɥ]和[ɥ]在分布范围和方向上比较相似, 男性的[ɥ]和[ɥ]则有较大不同。男性[ɥ]的分布更为集中, 而[ɥ]的分布则是一个倾斜的椭圆, 呈现出一定的动态性。男、女对比来看, 男性[ɥ]的分布比女性更为集中。男性和女性[u o]的分布都具有动态性, 男性[o]的分布较女性更为集中, 但男性[u]的分布范围较女性更广。男性和女性[ε i y]三个元音的相对位置较为稳定, 男性的[i]较女性更为集中。

从声学元音图上可见, 男、女的元音分布空间有所不同, 但声学元音图中的这种差异既包含了生理差异, 也包含了社会差异。下面将使用归一化方法消解生理差异, 对社会差异进行分析。

### 2.2 元音的声学空间与面积

吴波<sup>[2]</sup>指出, Z 值归一化(Normalization)后, 能

最大程度消减元音声学数据中的生理差异,使社会变异性得到最大程度的保持。 $Z$ 值归一化方法由Lobanov<sup>[8]</sup>于1971年提出。 $Z$ 值的计算公式为:

$$Z = (F - m) / n \quad (1)$$

其中,  $m$  是该发音人某次共振峰的均值;  $n$  是发音人该次共振峰的标准差;  $F$  则是基于赫兹的共振峰数值。

第一共振峰( $F_1$ )和第二共振峰( $F_2$ )需分别计算出对应的 $Z$ 值。研究中,将35位赣语发音人的 $F_1$ 和 $F_2$ 分别进行了 $Z$ 值归一化,再分性别计算出每个元音的平均 $Z$ 值,见表1。 $F_1$ 的平均 $Z$ 值记为 $F_1$ (Norm), $F_2$ 的平均 $Z$ 值记为 $F_2$ (Norm)。

表1 通城赣语元音的平均 $Z$ 值

Tab. 1 Average  $Z$ -score of vowels in Tongcheng Gan dialect

元音	男		女	
	$F_1$ (Norm)	$F_2$ (Norm)	$F_1$ (Norm)	$F_2$ (Norm)
A	2.33	-0.33	2.42	-0.21
$\varepsilon$	-0.14	1.15	-0.07	1.12
$\varpi$	0.01	-0.50	-0.07	-0.48
i	-0.96	1.67	-0.87	1.63
o	-0.08	-1.09	-0.22	-1.15
$\eta$	-0.05	-0.56	-0.09	-0.50
u	-0.41	-1.02	-0.40	-1.13
y	-0.71	0.68	-0.71	0.72

为了便于比较,将表1中的 $F_1$ (Norm)作为纵坐标, $F_2$ (Norm)作为横坐标,绘制出通城赣语元音的声学空间示意图,如图2所示。图2中,实线为男性,虚线为女性。元音的声学空间示意图是基于归一化后的共振峰值所绘制的,与基于赫兹值的声学元音图类似,纵坐标与元音舌位的高低对应,横坐标则与元音舌位的前后对应。

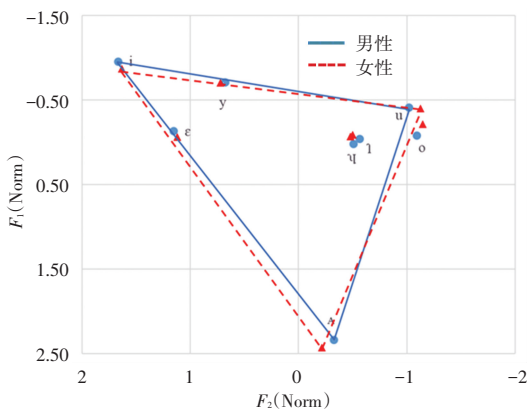


图2 通城赣语元音声学空间示意图

Fig. 2 Diagram of acoustic vowel space in Tongcheng Gan dialect

由图2可见,男、女发音人声学数据上的生理差异已经消除,各个元音分布的不同是社会差异的体现。将生理差异消除以后,女性发音人的 $[A y]$ 较男性发音人更低、更靠前,女性发音人的 $[\varepsilon i u]$ 较男性发音人更低、更靠后,女性发音人的 $[\varpi \eta]$ 较男性发音人更高、更靠前,女性发音人的 $[o]$ 较男性发音人更高、更靠后。通过观察可见,女性发音人 $[A i u]$ 三个顶点元音围成的元音三角(虚线)的空间面积比男性元音三角(实线)的空间面积稍微大一些。为了量化元音空间面积的大小,研究中根据向量平面的鞋带(Shoelace)计算公式(参见文献[2])分别计算了2个三角形的空间面积。计算结果显示,男性的元音空间面积为3.873,女性的元音空间面积为4.107,女性的元音空间面积比男性大0.234。文献[2]中,计算了南京、合肥、南通三地方言中男、女的元音空间面积,得出男性的平均面积为4.057,女性的平均面积为4.475,女性比男性大0.418。两相比较,通城赣语中男性和女性的元音空间面积都比平均值要小,其中男性小0.184,女性小0.368,并且通城赣语男、女元音空间面积之间的差异也不及平均差异大。此外,在文献[2]的结果中,南京方言中女性元音空间面积与男性元音空间面积之间的差值为0.18,比通城赣语中的男、女差异还小。可见,在通城赣语中,女性的元音空间面积比男性要大,元音的性别变异确实存在。朱磊<sup>[9]</sup>曾分析了赣方言南昌话元音的声学空间,也指出总体上是女性的元音空间更大,本文结果与其相符。本文中,发音人的年龄跨度较大,在一定程度上削弱了性别之间的差异,这可能是导致元音空间面积及其性别差异都达不到均值的原因之一。

另外,从图2中可以看到男、女之间有的元音离得近,有的元音离得远,为量化这种差异,根据表1中归一化后的共振峰数据计算了对应元音之间的欧氏距离(Euclidean Distances)。欧氏距离的计算公式为:

$$ED = ((x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2)^{(1/2)} \quad (2)$$

其中, $x_1$ 是表1中男性的 $F_1$ (Norm); $y_1$ 是表1中男性的 $F_2$ (Norm); $x_2$ 和 $y_2$ 则分别对应女性的 $F_1$ (Norm)和 $F_2$ (Norm)。

欧氏距离的计算结果显示,男性和女性之间, $[y]$ 的距离为0.04, $[\varepsilon]$ 和 $[\eta]$ 的距离均为0.08, $[\varpi]$ 和 $[i]$ 的距离均为0.09, $[u]$ 的距离为0.11, $[A]$ 和 $[o]$ 的距离均为0.14,男、女元音之间的平均欧氏距离为0.1。可见,男、女之间元音 $[y]$ 的差距较小,从

图2中也可以看到男、女的[y]几乎是重合的。男、女之间欧氏距离最大的元音是[A]和[o],说明这两个元音在男、女之间的差异较大。但需要注意的是,[A]和[o]在男、女之间的分布类型是不同的,女性的[o]比男性的更高、更靠后,而女性的[A]则比男性的更低、更靠前。Lima<sup>[10]</sup>曾经使用归一化后的共振峰数据计算出10位英语母语者3对长短对立的元音之间的欧氏距离。Lima<sup>[11]</sup>认为如果欧氏距离小于0.3,则是属于同一元音音位的范畴。从本文的数据来看,男、女之间元音的欧氏距离远远小于0.3,也说明男、女之间的元音变异是在同一音位范畴内发生的。

### 3 结束语

元音的性别变异是在语言中客观存在的,既有由于生理因素的不同带来的差异,也有社会因素带来的差异。对元音的性别变异进行分析,有助于呈现语言在不同性别发音人中的发展情况。本文分析了35位通城赣语母语者的元音录音,分性别绘制了基于 $F_1$ 、 $F_2$ 的声学元音图和基于 $F_1$ (Norm)、 $F_2$ (Norm)的元音声学空间图,并计算了男、女元音声学空间的面积及男、女对应元音之间的欧氏距离,量化了通城赣语中元音的性别变异情况。通城赣语母语者中,元音既存在生理差异,也存在社会差异;男、女之间变异性最大的元音是[A]和[o],变异性最小的元音是[y];男性的元音声学空间面积为3.873,女性的元音声学空间面积为4.107,女性的声

学空间面积更大。但本文中发音人的年龄跨度较大,可能是造成男、女元音空间面积差别不算太大的原因之一。在以后的研究中,可以更严格地控制年龄这一因素的影响,深入考察各年龄段发音人元音的性别变异情况。

### 参考文献

- [1] 王明华,闫大伟,杜战其. 普通话中的语音变异现象最新研究综述[J]. 和田师范专科学校学报, 2014, 33(01): 31-34.
- [2] 吴波. 汉语方言元音性别变异的计算分析[J]. 当代语言学, 2021, 23(02): 277-288.
- [3] 曹志耘. 湖北通城方言的语音特点[J]. 语言研究, 2011, 31(01): 106-112.
- [4] 熊子瑜. 语音库建设与分析教程[M]. 西安:西安交通大学出版社, 2017.
- [5] 石锋. 北京话的元音格局[J]. 南开语言学刊, 2002(辑刊): 30-36, 156.
- [6] JOOS M. Acoustic phonetics[J]. Language, 1948, 24(2): 1-136.
- [7] 吴宗济,林茂灿. 实验语音学概要[M]. 增订版. 北京:北京大学出版社, 2014.
- [8] LOBANOV B M. Classification of Russian vowels spoken by different speakers[J]. Journal of the Acoustical Society of America, 1971, 49(2B): 606-608.
- [9] 朱磊. 南昌话元音的声学空间[J]. 语言研究集刊, 2013(01): 64-78, 327.
- [10] LIMA R. A influência da idade na aquisição de seis vogais do inglês por alunos brasileiros[J]. Organon, 2015, 30(58).
- [11] LIMA R. A longitudinal study on the acquisition of six English vowels by brazilian learners[C]// International Congress of Phonetic Sciences. MELBOURNE, AUSTRALIA: International Phonetic Association, 2019: 1-6.

(上接第101页)

### 参考文献

- [1] 郑增威,杜俊杰,霍梅梅,等. 基于可穿戴传感器的人体活动识别研究综述[J]. 计算机应用, 2018, 38(05): 1223-1229, 1238.
- [2] 王俊文. 基于MEMS和三重定位的老人安全报警器的研究与实现[J]. 智能计算机与应用, 2019, 9(04): 140-143.
- [3] 李文锋,姚丙盟. 基于单三轴加速度传感器的人体活动状态识别[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2016, 44(04): 58-62.
- [4] 战青卓,王大东. 基于神经网络的人体动作识别研究[J]. 智能计算机与应用, 2018, 8(02): 151-154.
- [5] 胡小华,李向攀,祁洋阳. 可穿戴式人体姿态检测系统设计[J]. 医疗电子, 2017, 43(09): 13-16.
- [6] YANG Haitao, ZHANG Xinrong, CHEN Mengting, et al. SVM-based approach for human motion recognition[M]//ZHANG Y T, CARVALHO P, MAGJAREVIC R. International Conference on

Biomedical and Health Informatics. ICBHI 2015. IFMBE Proceeding. Singapore: Springer, 2015: 157-158.

- [7] 吴军,肖克聪. 基于深度卷积神经网络的人体动作识别[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2016, 44(S1): 190-194.
- [8] 佟丽娜,马航航,彭亮. 基于惯性传感器和LSTM神经网络的人体运动识别方法[J]. 传感技术学报, 2020, 33(11): 1536-1543.
- [9] HASHIM B A M, AMUTHA R. Human activity recognition based on smartphone using fast feature dimensionality reduction technique[J]. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 2021, 12: 2365-2374.
- [10] GARCIA - GONZALEZ D, RIVERO D, FERNANDEZ - BLANCO E, et al. A public domain dataset for real-life human activity recognition using smartphone sensors[J]. Sensors(Basel, Switzerland), 2020, 20(08): 2200.