

# 汉语音位对立在语音信息交流中重要性的分析\*

陈月, 解焱陆, 张劲松

(北京语言大学 信息科学学院, 北京 100083)

**文 摘:** 音位对立是语音交流的基础, 许多现象表明不同音位对立在语音交流中重要性不同。为了探究汉语音位对立在语音信息交流中的重要性和相互关系, 本文利用多维尺度方法对汉语人民日报语料库中声韵母对立的功能负载进行分析。实验结果发现, 一般发音部位相同发音方式不同的声母对立功能负载更大; 起始元音相同主要元音不同的韵母对立功能负载更大; 音位对立起始部分的发音部位越相近, 其功能负载越大。这一发现可以为人机语音交互、语言历时演变等其他语言工程提供理论性参考。

**关键词:** 音位对立; 功能负载; 多维尺度分析

**中图分类号:** H012

## 1 引言

音位是人类语言中能够区别意义的最小语音单位, 音位对立就是指能够造成意义差别的那些音位差别。在早期音位学研究中, 特鲁别茨科伊首次提出了音位对立的二元分析的概念, 之后的学者综合发音生理特征和声学特征从多个角度对音位进行分类, 例如: 发音方式、发音部位、区别特征等等[1]。根据这些分类方式, 音位对立包括了清浊音对立, 长短音对立, 唇齿音对立等等。不同的语言所包含的音位不完全相同, 音位对立也不相同。比如, 英语中有/θ/和/ð/的对立, 而汉语中却没有。即使是在同一种语言里, 不同的音位对立重要性也不相同, 比如许多汉语方言中前后鼻音不分, 但是并不影响人们相互交流, 这说明前后鼻音的对立比其他音位对立的重要性小。从这些现象我们可以看出不同音位对立在语音交流中重要性不同, 如果能了解音位变化是怎样在语音交流中传递信息, 找出音位对立在语言中重要性的规律, 这将大大提升语言学习, 人机语音交互的效率, 为共时和历时语言的发展演变等其他语言工程里提供理论性指导。

语音信息的认知过程主要包括两个方面: 一种是从自底向上根据声学特征的分类, 另一种是自顶向下根据语境, 知觉经验及期望所引导的加工过程[2]。基于这两类认知的过程, 许多研究都探究了音位对立在语言中的重要性以及音位之间的关系。Phatak 等人在不同噪音条件下讨论了英语中元辅音混淆情况[3-4]; 张家骥, 孟子厚等人根据听辨实验,

利用语音听觉混淆的聚类分析了汉语语音的音位系统[5-6], 并在不同听觉条件下根据听觉相似度画出声韵母的知觉结构图[7-8]。这些研究都是利用声学特征, 基于自底向上加工过程来对音位对立重要性进行分析的研究, 不能根据上层情境和经验知识, 从信息传递的角度得到音位在语音交流中的信息贡献度。于是有学者提出用功能负载量化计算语音对立语言交流中的重要性。上个世纪 50 年代, Hockett [9], King [10] 等人提出了一些基于频率及信息熵的功能负载计算方法, 60 年代王士元实现了这些方法[11]。本世纪初, Surendran 等人讨论了不同的功能负载的计算方法并发现不同语音对立有不同大小的功能负载[12]。之后张劲松等人加入语境因素提出了基于拼音-文本互信息的功能负载计算方法[13], 并对汉语中声母的功能负载进行聚类分析发现具有相同发音部位的声母对一般功能负载较大[14]。

然而音位对立在语音交流中的信息贡献是多因素影响的系统, 早期研究直接计算音位功能负载或者对功能负载做聚类分析可以将音位进行分类, 但无法得到不同类别的音位之间的相互关系。本文利用多维尺度的方法对汉语中音位对立的功能负载进行进一步的分析, 揭示了基于功能负载的汉语音位的分布特点。多维尺度法可以将多维空间的研究对象简化到低维空间进行定位、分析和归类, 同时又保留对象间原始关系[15]。本文计算出汉语语料库中声韵母对立的功能负载, 再用多维尺度来考察汉语中声韵母对立的重要性分布特点, 并将其与

\*基金项目: 北京语言大学重大基础研究专项(16ZDJ03), 语言资源高精尖创新中心项目

作者简介: 陈月 (1993-), 女 (汉族), 安徽合肥, 硕士研究生。

通讯联系人: 张劲松, 研究院, E-mail: jinsong.zhang@blcu.edu.cn

声韵母的发音结构特点进行比较分析。

本文第二部分介绍了功能负载的计算和多维尺度分析方法,第三部分介绍了实验设计与结果分析,第四部分是结论和展望。

## 2 实验分析方法

### 2.1 基于拼音-文本互信息的功能负载

互信息是一个随机变量由于已知另一个随机变量而减少的不确定性。一段语音,即是一串随机音位(拼音)序列,而人们理解这段语音的含义即为根据这串拼音序列推断出一串随机文本序列。文本  $W$  和拼音  $F$  之间的互信息为  $MI(W, F)$ :

$$MI(W, F) = H(F) - H(F|W) = -\frac{1}{n} \log \sum_{i=1}^m P(W_i) \quad (1)$$

$W_1, W_2, \dots, W_i$  表示所有可能的由拼音序列  $F$  推断出的文本序列,  $P(W_i)$  表示句子  $W_i$  出现的概率,可以从语言模型中得到。 $F$  和  $W$  互信息越大,说明它们的相关性越大,根据拼音得到正确文本的可能性越大。

功能负载是对语言交流中语音对立重要性的量化计算,可以用对立消失后语言信息量的损失来表示。本文利用文本和拼音之间的互信息来近似替代信息量,兼顾语境和知觉经验对语音对立信息传递的影响。功能负载定义如下:

$$FL(\alpha) = \frac{MI(W, F) - MI(W, F_\alpha)}{MI(W, F)} \quad (2)$$

公式里  $\alpha$  表示某个语言事件,例如音位对立、声调对立,韵律边界等等。 $MI(W, F_\alpha)$  计算的是语音对立  $\alpha$  消失之后的拼音-文本互信息,  $FL(\alpha)$  值即为该语言事件的功能负载。当  $\alpha$  消失,  $W$  序列的数量会增多,  $F$  和  $W$  的相关性会变小,  $MI$  的值会减小。本文中  $\alpha$  表示汉语中的音位对立,通过将对立中的两个音位合并成一个音位来模拟对立的消失。功能负载大即表示该音位对立的消失导致的语言信息损失大,该对立在语音交流中的作用大。

### 2.2 多维尺度 (MDS) 分析

在语音通信中,影响音位变化重要性的因素很多。为了更加具体地观察出汉语音位在信息传递中的作用及它们相互之间的关系,本文利用多维尺度的方法对音位功能负载进行分析,来获得基于功能负载的汉语音位分布。

多维尺度分析是基于研究对象的相似性或距离,将研究对象在一个低维的空间形象地表示出来。通过多维度分析呈现的空间结构图,人们可以清楚地看见研究对象在这些维度上的定位以及对象之间的相互关系。多维尺度分析的方法只需要给出距离的混淆矩阵即可计算出在多维空间里不同

对象的距离分布以此来表示不同对象之间的相似或相关性。

本文将音位对立的功能负载作为音位间的相关性的一种度量,那么混淆矩阵中两个音位的距离可以定义为:

$$d(\alpha) = 1 - FL(\alpha) \quad (3)$$

MDS 的操作步骤如下:

1. 假设一共有  $m$  个音位,计算它们两两之间的距离  $d(\alpha)$ ,并将这些距离放入混淆矩阵  $D$  中。

2. 对矩阵  $D$  进行特征分解,构建  $m-1$  维的初始音位分布结构,并计算相应的 stress 值,计算方法如下:

$$stress = \sqrt{\frac{\sum (d_{ij} - \hat{d}_{ij})^2}{d_{ij}^2}} \quad (4)$$

$d_{ij}$  是第  $i$  和第  $j$  个音位之间的真实距离,  $\hat{d}_{ij}$  是第  $i$  和第  $j$  个音位在初始分布结构中的距离。

3. 假设我们目标结构维度为  $n$ ,  $n=1$ 。

4. 利用 Kruskal 算法(最陡坡降法)找出  $n$  维结构的最小 stress。

5. 如果  $stress > 15\%$ ,  $n=n+1$ ,回到步骤 4; 如果  $stress \leq 15\%$ ,进入步骤 6。

6. 打印 MDS 结果,并根据音位的发音等特征对结果分布的不同维度找出合理的解释。

利用多维尺度方法对数据进行分析时,一般希望在 stress 满足一定条件的情况下,维度可以尽量小。Stress 小于 15% 的结构是比较可取的, stress 大于 20% 的结构一般没有意义。2 维和 3 维的结构是较理想的结构。在多维空间中越靠前的维度可靠度是越高的,这种结构能够从不同特征层级上反映出语音通信中各音位对立承载在的信息量大小。

## 3 实验设计与结果分析

### 3.1 实验设计

实验用的语料库是 1999 年人民日报的语料,全篇一共 26410899 个汉字,语料分词后全部转录成带声调的汉语拼音。

实验中声韵母的分析是分开进行的。在语料中统计出声母 23 个和韵母 34 个,计算出所有声母对和韵母对的功能负载。在对功能负载的值进行分析时发现,‘y’和‘w’是零声母,且与其他声母计算出的功能负载均为 0; 韵母‘ue’与‘üe’的实际发音相同,‘ue’与其他所有韵母计算出来的功能负载值也都为 0,所以在对实验数据进行多维分析时去除了两个零声母‘y’、‘w’和韵母‘ue’,最后实际的实验对象为 21 个声母和 33 个韵母。

实验计算得到 210 对声母和 528 对韵母的功能负载，转换成距离后分别放入对应的声韵母的混淆矩阵。再分别对声韵母的混淆矩阵进行多维分析。

### 3.2 声母功能负载的多维分析

直接从声母对立的功能负载数值上看，大部分发音部位相同的声母对立有更大的功能负载，这与前人研究的实验结果一致。

从对声母功能负载混淆矩阵的多维分析数据结果看来，三维的结构已经可以获得较小的 stress，约为 11.7%，说明三维结构就能很好地描述汉语声母基于功能负载大小的分布关系。声母三维空间分布结果如图 1 所示：图中不同的点代表着不同的声母，两个声母的距离越近，代表它们的功能负载越大。表 1 是汉语声母的发音部位及发音方式分类表，可以用来对比分析图 1 的结果。

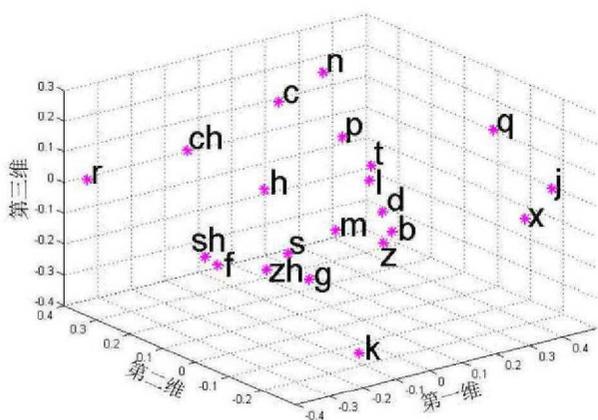


图 1 汉语声母功能负载的最佳三维空间结构

表 1 声母分类表

发音部位	双唇	唇齿	舌尖	舌尖	舌尖	舌面	舌面
发音方法	音	音	前音	中音	后音	前音	后音
不送气清塞音	b			d			g
送气清塞音	p			t			k
不送气清塞擦音			z		zh		j
送气清塞擦音			c		ch		q
清擦音		f	s		sh		x
浊擦音					r		
鼻音	m				n		
边音					l		

从图 1 中可以看出声母功能负载的分布与发音部位有着密切的联系，大部分发音部位相同、发音方式不同的声母在图中的距离较近。同时发音方式相同、发音部位不同的声母在图中的距离一般较远。推测发音部位相同的声母对立功能负载会比较大。

二维的结构的功能负载虽然相比于三维结构的较

大，但仍能保持在 20% 以内，该范围内的结构也是可取的，如图 2 所示。图中各点表示二维分析后的声母分布，圆圈和发音部位说明是后加的，方便观察声母分布和发音部位的关系。

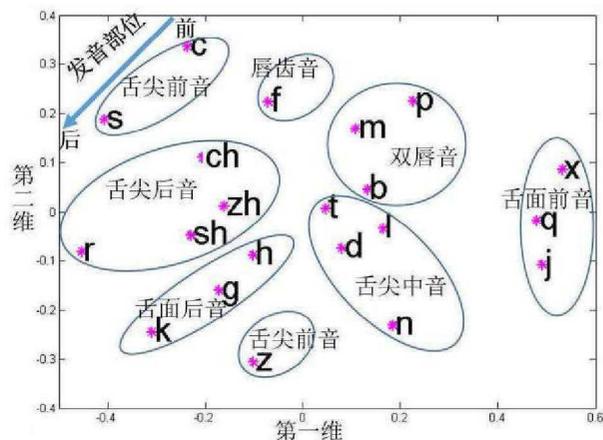


图 2 汉语声母功能负载的最佳二维空间结构

从图 2 中可以发现，声母基本上是按照发音部位各自聚成一簇，而且从右上到左下，各类声母的发音部位是按顺序从前到后排列的。

图中有个例外是‘z’和‘c’、‘s’的距离较远。我们统计了语料库中所有声韵母及其组合的频数，发现‘z’的频数远远超过了‘c’和‘s’。

### 3.3 韵母功能负载的多维分析

从多维分析的 stress 来看，同样是三维的结构就能拥有较小的 stress 值，约为 13.5%。图 3 是韵母的三维结构分布。图中‘v’表示‘ü’，图 4 中也一样。可以发现韵母功能负载和韵母的起始元音有密切关系，有相同起始元音、不同主元音的韵母在第一和第二维上更趋向于聚在一起，即起始发音相同的韵母对立有更大的功能负载。

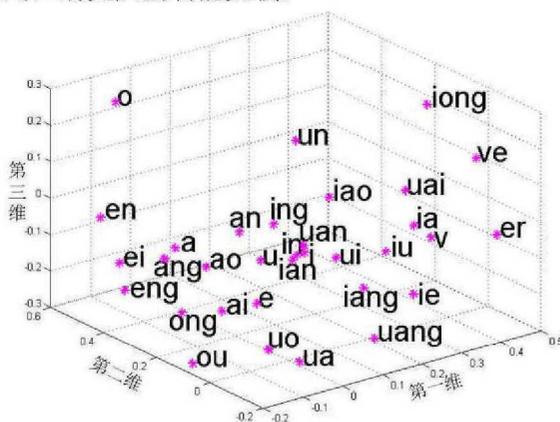


图 3 汉语韵母功能负载的最佳三维空间分布

和声母一样，韵母二维结构的 stress 虽然比三维的大，但也能保持在 20% 以内，结果如图 4 所示。图中的各点代表二维分析后的各个韵母分布，虚线



University of Wisconsin--Madison, 1966.

- [11] Wang W S Y. The measurement of functional load [J]. *Phonetica*, 1967, 16(1): 36-54.
- [12] Surendran D, Niyogi P. Quantifying the functional load of phonemic oppositions, distinctive features, and supra-segmentals [J]. *AMSTERDAM STUDIES IN THE THEORY AND HISTORY OF LINGUISTIC SCIENCE SERIES 4*, 2006, 279: 43.
- [13] ZHANG Jinsong, LI Wei, HOU Yuxia, et al. A study on functional loads of phonetic contrasts under context based on mutual information of Chinese text and phonemes [C]. *Chinese Spoken Language Processing (ISCSLP)*, 2010 7th International Symposium on. IEEE, 2010: 194-198.
- [14] WU Bin, ZHANG Jinsong, XIE Yanlu. A clustering analysis of Chinese consonants based on functional load[C]. *Asia-Pacific Signal and Information Processing Association, 2014 Annual Summit and Conference (APSIPA)*. IEEE, 2014: 1-4.
- [15] Kruskal J B, Wish M. *Multidimensional scaling* [M]. Sage, 1978.
- [16] 叶蜚声, 徐通锵. *语言学纲要*[M]. 北京: 北京大学出版社, 1997.
- YE Feisheng, XU Tongqiang. *Linguistic Outline* [M]. Beijing: Peking University Press, 1997. (in Chinese)

## A Study of Importance of Chinese Phonetic Contrast in Speech Information Communication

**Abstract:** Phoneme is the smallest unit of speech that can distinguish meaning in the human language. Phonemic contrasts are basic elements of speech communication. Different phonemic contrasts have different importance in speech information communication. In order to explore the importance of phonemes and the relationship between phonemes, this paper used multidimensional scaling method for further analyzing the functional load (FL) of Chinese Initials and Finals contrasts in People Daily corpus. The experimental results showed that Initials with different articulation manners at the same articulation place are more likely to have higher values of FLs; Finals share the same onset vowel and different main vowels tend to have higher FLs; phonemes with closer beginning articulation place have higher FLs. Those findings can provide a reference for the man-machine speech alteration, synchronic and diachronic evolution of language and other linguistic engineering.

**Key words:** phonetic contrast; functional load; multidimensional scaling