

略论粤语歌曲基频与歌词声调的关联

马英浩

北京大学数学科学学院

提要 本文以声学语音学的数据为基础讨论粤语歌曲中演唱的基频受歌词声调的影响。对年龄在 18-22 岁之间的 11 名发音人（女 6 名，男 5 名）针对指定歌曲的歌声和歌词阅读声进行了分析，探究基频随时间的变化，研究的声调涉及粤语六种声调中的四种。声学数据表明：（1）调值相差较多的声调，其歌词读声的基频随时间变化的斜率存在显著差异；（2）各个声调之间的歌词，其歌声基频随时间变化的斜率两两之间均不存在十分显著的差异；（3）各声调的读声基频斜率和歌声基频斜率存在一定的联系。

关键词 粤语 歌声基频 歌词声调 基频斜率

1. 引言

声调语言的基频变化，也即声调，对于母语者的语言使用具有不可忽视的作用。然而对于歌声，旋律一定程度上限制了歌唱者的基频变化空间，进而可能影响到听者对于歌声的理解。因此关于声调语言中的歌曲，母语歌唱者歌词的声调变化是否影响到歌声基频随时间的变化，学术界一直存在诸多争议。在汉语方言领域，有关的研究也相对匮乏，争论的焦点在于韵腹的音值，个别学者对于这个韵母介音的音质也有不同于他人看法。

关于声调语言母语者是否向歌曲基频变化中添加有关读声的信息，主要有以下观点：

1. Rycroft 认为在 siSwati 语和 Zulu 语言中，某些特殊辅音条件下的滑音（on-glides）声调信息可以体现在歌声基频随时间变化上 [1]；

2. Yung 指出在粤剧（带有一定即兴演奏成分）当中，属于上升或下降的声调的唱词与旋律存在关联，即如果伴奏不是两三个与声调同方向变化的音符，则可能出现单音结尾出现滑音的情景 [2]；

3. Chao 指出在普通话歌曲中演唱者可能会将歌词的读声声调融入到歌曲的歌声装饰音变化当中 [3]；

4. Schellenberg 指出在粤语歌曲中，歌词声调对应的读声基频上升时，歌声的基频变化会受到读声的基频变化影响，而读声持平或下降时歌声的基频变化则不会受到显著影响 [4]，然而普通话母语者演唱普通话歌曲时无论歌词在读声上属于上升调还是下降调，歌声的基频变化均不会受到声调基频变化的显著影响 [5]。

本文探讨了粤语母语者在阴平、阳平、阴上、阳去四种声调的歌词上，歌声频率随时间变化和歌词读声频率随时间变化的关联。

2. 方法

2.1 粤语

粤方言中除入声字外有六种声调（见表1）：包括三种平调（声调1阴平、3阴去、6阳去）阳去，两个升调（声调2阴上和5阳上）和一个降调（声调4阳平）。还有三种入声调有时被划分为单独的音调[6]。本研究采用六音分类法。表1中音调的五度标记法描述遵循Chao在 [2]当中的标记。

声调	1阴平	2阴上	3阴去	4阳平	5阳上	6阳去
调值	高平5-5	高升3-5	中平3-3	低降2-1	低平2-2	低升2-3

表1：粤方言声调六音分类及五度调值对应表

本研究选取“妈”“麻”“马”“骂”分别作为阴平、阳平、阴上、阳去的代表。

2.2 发音材料

1=C $\frac{2}{4}$

两只老虎(单音旋律)



1 2 3 1 | 1 2 3 1 | 3 4 5 | 3 4 5 | 5 6 5 4 3 1 | 5 6 5 4 3 1 | 3 5 1 | 3 5 1 ||

注：右手可都用拇指弹。

图1：研究采用的歌曲的乐谱

本研究采用的“妈”“麻”“马”“骂”四个字被嵌入到一首特别编写的粤语“童谣”中。这首歌的音乐旋律为发音人普遍熟悉的儿歌《两只老虎》，在每段歌词当中，同一个音调的字在该首乐曲的四个四分音符中各出现一次，其他音符上的字作为干扰项干扰发音人的注意，发音人均未猜出研究内容。四个字分别出现在不同段歌词当中，每个发音人熟悉旋律以后将歌曲在四段歌词上各唱一遍。歌词内容如下：

小小蝌蚪，小小蝌蚪，找妈妈，找妈妈；突然没了尾巴，突然眼睛变大，想妈妈，想妈妈；
偷吃花椒，偷吃花椒，嘴发麻，嘴发麻；妈妈笑我傻瓜，爸爸笑我傻瓜，嘴发麻，嘴发麻；
小小少年，小小少年，去骑马，去骑马；带上我的帽子，穿上我的靴子，来骑马，来骑马；
我不听话，我不听话，总挨骂，总挨骂；一会r妈妈来骂，一会r爸爸来骂，总挨骂，总挨骂。

2.3 发音人

11 名发音人 0 号到 4 号为男性，5 号到 10 号为女性。除 4 号发音人在香港出生长大以外，其余发音人都是在广州市区出生并长大的广州人，在来北大求学前，没有在外地长时间生活的经历。年龄在 18-22 岁之间，除 11 号发音人外均可唱准两只老虎的旋律。

2.4 样本采集与数据测量

发音人录音地点为学生寝室或理科教学楼、光华管理学院老楼无明显环境背景噪音的安静场所。0 号到 2 号录音设备为戴尔 inspiron15 笔记本电脑及其内置声卡，录音软件为 praat，其余发音人录音设备及软件为 praat 和手机内置录音软件。所有音频均为单声道，采样率均为 44.1kHz，除手机录音外均被保存为 wav 格式文件。

每个实验对象都分别看到了这首歌的乐谱及四段歌词。实验对象被要求先用粤语按照四段的先后顺序朗读歌词，再依次唱出四段歌曲。为了确保受试者对歌词的熟悉程度，录音之前受试者会反复朗读歌词并聆听研究人员演唱歌曲旋律，直到他们觉得自己对这首歌足够熟悉，能够唱出来为止。在实验过程中，他们被要求清唱，但如果他们觉得自己忘记了旋律，他们可以随时停止录音重新熟悉歌词和旋律。

录音时屏幕上同时显示了全部四行歌词的图片而看不到乐谱，发音人可以按照自己喜好放大缩小图片，按照自己对乐谱的印象唱出自己的旋律。被试可以按照自己感到舒适的节奏来演唱和朗读，研究的字在数据处理时在时域上被归一化。

3. 结果与讨论

由于粤方言的声调只有平调、升调和降调三大类，为了方便表征不同声调的歌词阅读声的差异，研究时对于每个研究的字的阅读声和歌声，均等间距提取 12 个基频，去掉可能有误差的第一项和最后一项，用高斯最小二乘法计算余下十个数据点随时间变化的线性回归函数，用回归得到的一次函数斜率的大小及正负表征声音的基频随时间变化情况。

此外，由于不同个体的发音人存在较大的个体差异，因此在小样本时让每位发音人均完成朗读和歌唱，在对数据处理时，将全部数据分为阴平朗读、阳平朗读、阴上朗读、阳去朗读、阴平歌唱、阳平歌唱、阴上歌唱、阳去歌唱共八组，每组剔除 10 号发音人共计 10 组数据，采用配对 t-检验（pairs sample t-test），自由度均为 9，计算相应的 p-值。

本研究当中配对 t-检验比较的组数较多，如果仍旧使用 p-值 < 0.05 作为衡量显著性的指标，所有数据均在 95% 区间当中的可能性相对较小，会有更高的假阳性风险，因此本研究使用 p-值 < 0.03 作为衡量显著性的指标。

3.1 不同声调的阅读声基频斜率

如果基频斜率可以在一定程度上表征朗读声和歌曲声当中的基频时间序列的特征，基频斜率在相近的基频时间序列当中应当具备某种相关性，在差别较大的声调当中，阅读声的基频斜率应当存在显著差异。而对阴平朗读、阳平朗读、阴上朗读、阳去朗读四组斜率的配对 t-检验的结果表明，音频调值相差较多的声调，其歌词读声的基频随时间变化的斜率存在显著差异，检验结果如下表所示：

配对	阴平-阳平	阴平-阴上	阴平-阳去	阳平-阴上	阳平-阳去	阴上-阳去
t (9)	4.464	0.293	2.957	-3.352	-1.330	2.236
p-值	0.000782	0.772700	0.008977	0.006480	0.204956	0.041199

表2：不同音调斜率之间的朗读声基频斜率差异表

从表中我们可以看到，调值差异较大的阴平（五度标记法为 5-5）的和阳平（2-1），阴平（5-5）和阳去（2-2），阳平（2-1）和阴上（3-5）三组数据 p-值远远小于 0.03，显著性相对较大；调值有差异但不大的阴上（3-5）和阳去（2-2）p-值小于 0.05 具有一定

的显著性，但是否具有明显的显著性需要对余下数据的分析才可以做出推断；调值差异较小的阴平（5-5）和阴上（3-5），阳平（2-1）和阴上（2-2）这两组数据， p -值远远大于 0.05，他们的基频斜率没有显著差异。这样的结果说明音频调值相差较多的声调，其歌词读声的基频随时间变化的斜率存在显著差异，从而在一定程度上证实了斜率作为声调或基频随时间变化的指标的合理性，另一方面也证实了“妈”“麻”“马”“骂”四个代表汉字选取的合理性。

3.2 不同声调的歌词基频斜率比较

通过对阴平歌唱、阳平歌唱、阴上歌唱、阳去歌唱四个“声调”的代表汉字的基频斜率比较，我们发现这些声调歌声基频随时间变化的斜率，两两之间均不存在十分显著的差异。对于每个代表汉字，研究仅选取了乐曲最后一个音，也即最后一次出现代表汉字之处。对选定位置歌声基频斜率的 t -检验结果如下表所示：

配对	阴平-阳平	阴平-阴上	阴平-阳去	阳平-阴上	阳平-阳去	阴上-阳去
$t(9)$	0.184	-2.226	0.418	-2.131	0.207	2.303
p -值	0.856210	0.041651	0.681419	0.047380	0.838384	0.033571

表3：不同音调斜率之间的歌声基频斜率差异表

从表中可以看出，上述四种音调之间的基频斜率，两两之间 p -值均大于 0.03，两两之间也并没有十分显著的差异。而阴平（5-5）和阴上（3-5），阳平（2-1）和阴上（3-5），阴上（3-5）和阳去（2-2），三组数据 p -值仅是略大于 0.03，仍小于 0.05，可能存在细微的显著性，这可能是由于阴上这个调类的歌声基频变化与其他调类稍显不同，事实上，以上四种调类只有阴上（3-5）属于“升调”，即 [4]中 Schellenberg 所认为的歌声基频变化趋势和朗读声趋势相关的调类。但同样的，其是否具有明显的显著性、阴上的旋律是否具有某种特殊性，需要对余下数据的分析才可以做出推断。

3.3 歌声和朗读声的基频关联

各个调所对应的歌声基频斜率没有显著差异，这很大程度上说明各声调的读声基频斜率和歌声基频没有单独的显著影响。事实上歌声和朗读声之间的配对 t -检验发现阳平（2-1）朗读声和阳去（2-2）朗读声和全部歌声均有显著差异， p -值最大为阳去朗读声和阳去歌声之间的 0.025，而阴平（5-5）朗读声和阴上（3-5）朗读声和各类歌声之间的 p -值都明显高于0.05。

虽然各个调的歌声基频斜率没有显著差异斜率，但是各个歌声斜率和朗读声斜率当中可能存在一定联系，歌声、朗读声斜率值如下表所示：

	阴平读	阳平读	阴上读	阳去读	阴平唱	阳平唱	阴上唱	阳去唱
均值	1.102	-1.075	0.892	-0.564	0.851	0.769	1.947	0.662
方差	1.833	0.308	2.790	1.024	0.615	1.183	1.567	1.236

表4：不同音调朗读声和歌声所得斜率均值和方差表

总体而言，四种声调歌词的歌声均有明显的基频上升趋势，可能是由于乐曲结尾是上行四度音程，乐曲的基频迅速扩大为原来的三分之二四倍，从而影响了歌声基频的上升。这暗示人的歌声不是突变的过程，乐曲的旋律走向比歌词的声调、读声基频走向更能影

响歌声在每个字的基频走向。在朗读声中，阴平（5-5）和阴上（3-5）作为调值比较高的调，他们的基频斜率大于阳平（2-1）和阳去（2-2）这两个调值比较低的调；与之类似，在歌声中阴平（5-5）和阴上（3-5）基频斜率也大于阳平（2-1）和阳去（2-2）。

此外从表格中可以看出阴上（3-5）这个明显的升调，其歌声的基频斜率均值明显大于其他三个调，这与 3.2 中阴上（3-5）的歌声与其他歌声配对 t-检验的p-值均在 0.03到 0.05两个显著性指标之间，和 [4]中“升调”的结论也不谋而合。

4. 结论和余论

结果表明，基频斜率是一个表征阅读声和歌声基频随时间变化差异的指标，调值相差较多的声调，其歌词读声的基频随时间变化的斜率存在显著差异，而调值相差较少的声调斜率之间差异的显著性也随之降低。此外，各个声调之间的歌词，其歌声基频随时间变化的斜率两两之间均不存在十分显著的差异，仅阴上调可能与其他调不同；各声调的读声基频斜率和歌声基频斜率存在一定的关联，阴上调的歌声斜率可能最大。

此外，相比朗读声中声调的变化，乐曲的旋律变化在多大程度上影响到了歌声中每个字基频的变化值得我们进一步探究，需要设计下行和平行的旋律重复本次实验。发音人的居住地（广州或香港）、性别、个体差异、为了与普通话研究想对照设计的不玩全符合粤语使用习惯的歌词是否影响到实验结果依然有待更细致的研究。而此次研究仅涉及粤语的平、上、去的有关调类，粤语的入声字除了调值以外时值也比其他六个声调段，入声调类对声时值的影响同样是值得探究的课题。

值得注意的是，很多时候简单的斜率未必能体现很多信息，例如有时基频变化先快后慢，有时先慢后快，而人耳对基频变化的感知很大程度上是对数标度的，是否存在更合理的指标也有待调查。

5. 参考文献

- [1] Rycroft, D. 1970. The National Anthem of Swaziland. *African Language Studies* 11, 298-318.
- [2] Yung, B. 1989. *Cantonese Opera: Performance as Creative Process*. Cambridge: Cambridge University Press.
- [3] Chao, Y.R. 1956. Tone, intonation, singsong, chanting, recitative, tonal composition and atonal composition in Chinese. In Halle, M., Lunt, H.G., McLean, H., van Schooneveld, C.H. (eds.), *For Roman Jakobson: Essays on the Occasion of his Sixtieth Birthday, 11th October 1956*. The Hague: Mouton & Co, 52-59.
- [4] Schellenberg, M., “Tone Contour Realization in Sung Cantonese”, Proc. of 17th Int. Congr. of the Phonetic Sciences. Hong Kong, 2011, pp. 1754-1757.
- [5] Schellenberg, M., “Tone Realization in Sung Mandarin”, Proceedings of the 3rd International Symposium on Tonal Aspects of Language, Shanghai, 2012
- [6] Yip, M. 2002. *Tone*. Cambridge: Cambridge University Press.

附录. 脚本

附录.1 praat基频点提取脚本

```
# BEGIN OF SCRIPT #  
# Getting the interval from the user:  
#form Formant listing by a customized interval value...  
#comment Supply the interval for listing:  
#positive Interval(sec) 0.00625
```

```

#endform
# Initializing loop variables:
begin_from=Get begin of selection
end_by=Get end of selection
time=begin_from
t=time-begin_from
duration=end_by-begin_from
#duration=Get selection length
interval=duration/10.00000001
# Printing the table header:
echo pitch listing
printline
# Listing by the specific interval:
while time<=end_by
    Move cursor to... 'time'
    pitch=Get pitch
    t=time-begin_from
    printline 'pitch:2'
    time=time+interval
endwhile
durationf=duration*1000
printline 'durationf:2'
# Recover the selection as ever:
Select... 'begin_from' 'end_by'
# END OF SCRIPT #

```

附录.2 斜率提取和 pairs sample t-test 计算脚本

```

import os#用于批量读取文件
import numpy as np
from sklearn.linear_model import LinearRegression
from scipy import stats
c_mark = 0
matrix_coef = [0 for i in range(8)]
filepath = "E:\课程\汉语语音学基础\期末论文\pitch line\\"#引号前的斜杠要双
for k in range(2):#读和唱
    for j in range(4):#音调组数
        data_matrix = [0 for i in range(10)]
        for i in range(10):#数据组数
            f = open(filepath + str(i) + "_" + str(j+1) + "_" + str(k) + ".txt")
            mark = 0
            tem = []
            for line in f:
                #print(line,i,j,k)
                mark +=1
                if mark >= 4 and mark<=13:

```

```

        para = float(line)
        tem.append(para)
    data_matrix[i] = tem
X = np.array([[i+1 for i in range(10)]]).T#X要转置Y不用#算斜率线性回归的横坐标
list_coef = [0 for i in range(10)]#斜率组，长度和发音人个数一样多
for i in range(10):
    Y = np.array(data_matrix[i])
    reg = LinearRegression()
    #print(data_matrix[i],X,Y)
    reg.fit(X, Y)
    list_coef[i] = reg.coef_[0]
#print(j+1,k,list_coef)#print(data_matrix)
matrix_coef[c_mark] = list_coef
print(i,np.mean(list_coef))
c_mark += 1
for i in range(7):
    for j in range(i+1,8):
        l1 = np.array(matrix_coef[i])
        l2 = np.array(matrix_coef[j])
        if stats.ttest_ind(l1,l2, equal_var = False)[1]<0.05:
            print(str(i+1)+' '+str(j+1)+' ',stats.ttest_ind(l1,l2, equal_var = False))

```