

## 汉语语句中重读音节音高变化模式研究\*

王 蓓 吕士楠<sup>1</sup> 杨玉芳

(中国科学院心理研究所 北京 100101)

(1 中国科学院声学研究所 北京 100080)

2001 年 3 月 12 日收到

2001 年 8 月 22 日定稿

**摘要** 对汉语重读音节知觉的音高线索及句中重读音节的音高变化模式进行了研究。论文分 3 部分: 重音知觉实验、问答匹配实验和语料库分析。重音知觉实验主要考察了重音知觉的音高线索, 主要是高音点、低音点对重音知觉的贡献。重读音节音高变化模式的研究, 一方面从发音人的角度, 用问答匹配实验, 选取 /DAO4/ 为代表音节, 设计少量实验句请多位发音人朗读, 系统安排 /DAO4/ 在句中的位置, 用问句自然地引导 /DAO4/ 重读或非重读, 对这两种情况做比较; 另一方面从听者的角度, 用语料库分析, 对一个大规模语料库通过感知实验进行重音和停顿两方面韵律标注, 比较标为重和标为轻的音节的音高值。

重音知觉实验结果表明, 音域平移和高音点提高都是重音知觉的线索, 但是高音点的提高对词重音知觉的作用更明显。重读音节音高变化模式的两项研究表明, 重读音节的音高在“高音线-低音线”渐降汉语语调模式上变化, 高音点的提高是重读音节音高变化的主要声学表现, 低音点的变化更多地受到低音线渐降的限制, 变化的幅度不十分明显, 而且不是必须提高。高音线-低音线双线语调模型中, 高音线起落的变化, 前后音节高音点的对比关系表明句中音节的重读程度。

PACS 数: 43.70

### The pitch movement of stressed syllable in Chinese sentences

WAN Bei LU Shinan<sup>1</sup> YANG Yufang

(Institute of Psychology, The Chinese Academy of Sciences Beijing 100101)

(1 Institute of Acoustics, The Chinese Academy of Sciences Beijing 100080)

Received Mar. 12, 2001

Revised Aug. 22, 2001

**Abstract** The pitch movement of stressed syllable in Chinese sentences was studied on three aspects, that is, perceptual experiment, matched question and statement experiment and prosodic labeled corpus analysis. The pitch cues to stressed word perception were studied in the perceptual experiment. To get the pitch movement of stressed syllable in sentences, we investigated not only multi-speaker's data but also a large database of one professional speaker. In the matched question and statement experiment, /DAO4/ was selected as the target syllable. The locations of /DAO4/ in sentences was systematically arranged at initial, medial and final position. Whether /DAO4/ was stressed or not depended on accordingly question. In the prosodic labeled corpus analysis, all syllables were labeled with relevant stress degree and break degree through psychological perception experiment.

The results of the stressed syllable perception experiment show that though both the shifting of pitch contour and the rising of the high point of pitch are the stressed syllable perception cues, the later is more important. From the matched question and statement experiment and prosodic labeled corpus analysis, we can draw the conclusion that the pitch movement of stressed word is on basis of top-and bottom-line declination intonation pattern. The rising of high point of the pitch is the main cue to stressed syllable while the movement of low point of the pitch is not that much and is limited by the intonational bottom-line declination. While the syllable of tone 3 is stressed, sometimes the low point of

\* 国家自然科学基金资助项目 (69675008)

the pitch is lower. In the top and bottom-line Chinese intonational model, the variation of top line, and the comparison of the high point of the pitch between former and later syllables are the cues to the stress degree of syllables.

## 引言

句子重音在言语交流中起到重要的作用。说话者通常通过提高音高, 加长时长传递有关句子重音的信息<sup>[1]</sup>。可能在语调和超音段研究领域内没有比重音问题更让人费解的<sup>[2]</sup>。对话语重音的研究不能抛开语调。同样地, 当我们讨论语调时实际上是在讨论这一段言语中的重音<sup>[3]</sup>。句子水平的重音就是语调音高的移动, 如果没有语调音高的移动就没有词重音稳定的语音相关物<sup>[2]</sup>。目前提高合成语言的自拟度, 核心问题之一是语句重音<sup>[4]</sup>。

汉语作为声调语言其声调固有音高限制了基频在语流中的自由变化。最经典的汉语语调理论是赵元任提出的音域的概念和橡皮带假说。他把音域作为语调模型中对音高描述的单元, 把音域在语调的基础上变化比喻为橡皮带上图形的变化。声调音域指语流中特定位置上声调音高特征分布的总音域。聚合声调<sup>[3,5]</sup>跟单个声调不同, 声调只有个别特征, 聚合声调则包括声调系统全部特征。音域就是这些特征的总音高范围。

对音域有两种主要的理解方式, 一种是将音域或音域的组合看作是语调的基本单位, 语调就是这些单位的组合。另一种是将音域上限和下限看成音高上线和音高下线, 也就是音域变化的橡皮带。对于这两种理解都有相应的研究。

吴宗济提出, 带有强调重音的语调以基本单元调型连续变调为基础, 全句调域扩大, 声调起伏加大, 或全句的调域提高。两字组、三字组及其连续变调模式是语调的基本单元。处理语调时, 把各调群调域的半音值下限的音阶作为该调群的“调门”, 而调群之间的差别就只有类似作曲中的“移调”的差别了<sup>[6]</sup>。吴宗济以带有较强感情色彩的话语为研究对象, 研究的基本单元也很灵活, 小到音节, 大到语调短语。

沈炯<sup>[5]</sup>认为在音域单元构成的高音线-低音线双线语调模型中, 高音线和低音线是两种独立的因素, 音域上限的变化和语义加强相关, 音域下限的变化和节奏结构的完整性相关。在陈述句中, 语句焦点音域上限往往很高, 焦点后音域上限突然下落。陈述语调是高音线骤落形式和低音线下延形式的组合<sup>[5]</sup>。Garding 的格子模型表明, 斯勘的那维亚语言里的重音和语调也有相似的情况<sup>[7]</sup>。

上述两种汉语的语调观点中都强调重读音节音

域的扩展, 但在重读音节与音域上限和音域下限的关系上有分歧。关键问题是, 音节被重读时, 是高点提高还是高音点和低音点同时提高。已有的研究多是用少量实验语句, 本文基于心理感知实验, 除了用传统的朗读实验句的方法外, 还对大规模语料库进行了重读音节的声学分析。

本研究分 3 个部分: 重音知觉实验、问答匹配实验和语料库分析。重音知觉实验研究了重音知觉的音高线索。问答匹配实验和语料库分析研究了处于韵律短语首、中和末的音节重读时的音高变化模式。问答匹配实验是对多发音人少量实验语句的分析; 语料库分析是对一个发音人的大量发音语料的分析。

## 1 重音知觉实验

聚合声调的音域可看作汉语音高的一个变化量。声调音域的改变表现在声调曲拱的变化上, 因此不能用汉语音节的平均音高来全面描述。而应考虑到音域高音点和低音点的变化。

对词重音声学相关物的研究多直接采用知觉实验的方法以确定物理量与心理感知量之间的关系。已有关于词重音的知觉研究讨论了音高、时长和能量对词重音知觉的贡献量, 发现音高是重音知觉的主要线索<sup>[8]</sup>。本实验集中研究重读音节知觉的音高线索。

### 1.1 方法

本项心理物理知觉实验中, 要求被试判断两个单音节中哪个听起来更重。为了让被试形成一致的判断标准, 实验前进行 5 分钟的练习。为减小顺序效应, 每对音节以 AB、BA 的顺序各呈现一次, 另外所有音节对的呈现顺序随机排列。音节对的波形采样值存在计算机中, 被试从计算机通过耳机听音, 音量由被试调节到合适的程度。允许被试反复听多次, 直到做出肯定的判断。

### 1.2 材料

与其它声调相比, 去声在调域内的曲拱特征为高降调型, 其音域和聚和声调的音域最接近。因此本实验以去声为实验材料。

实验中的 524 个去声音节来自一个语料库(包含 15271 个音节), 并用 Multi-speech 语音分析软件计算出每个去声的高音点、低音点、音域和时长。分别考虑高音点和低音点的变化, 两个音节在对比时就可

能出现图 1 中的 4 种基本情况, (1) 低音点降低而高音点相同, (2) 音高水平整个上升音域不变, (3) 高音点升高而低音点相同, (4) 音高水平提高, 但音域收窄。根据上述条件选出符合条件 1 的 9 对音节, 条件 2 的 17 对, 条件 3 的 37 对, 条件 4 的 12 对, 共 75 对音节。每一对音节的时长基本相等 (误差小于 10 ms), 以避免其它变量对重音知觉的影响。

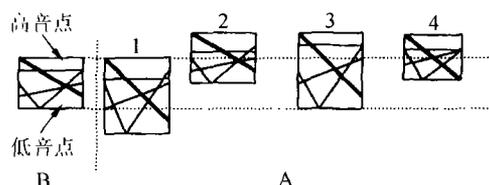


图 1 重读音节的音高变化模式 (A-1) 高音点相同 (A-2)、音域相同 (A-3) 低音点相同 (A-4) 音高升高而音域变窄, B 对比音节。

### 1.3 被试

32 名被试均为有良好的普通话背景是北京籍大学生, 其中男女各半。

### 1.4 结果与讨论

本实验以高音点、低音点为自变量讨论音高对词重音知觉的影响。配对音节 AB 中 A 被选为重音的概率及差异显著性检验见表 1。

表 1 A 被知觉为重音的概率及其 T 检验

条件	A	T
高音点相同	0.50	-0.08
音域相同	0.68	9.68**
低音点相同	0.69	11.03**
音域升高并变窄	0.65	7.63**

\* 代表  $P < 0.05$ , \*\* 代表  $P < 0.01$ 。

由表 1 可见, 当音节的高音点相同时, 其低音点的差异不导致音节轻重知觉上的显著差异 ( $t = -0.08$ )。而音域相同 ( $t = 9.68^{**}$ ) 或低音点相同 ( $t = 11.03^{**}$ ) 时, 高音点更高的音节知觉为重的次数显著高于高音点较低的音节。甚至于, 即使音域更窄只要高音点更高的音节也显著地被知觉为重 ( $t = 7.63^{**}$ )。可见, 音域变化和低音点的变化不是重音知觉的直接线索, 高音点的变化更显著地导致重音知觉。

进一步地, 从音节被选为重的次数与高音点、低音点和音域的相关分析 (见表 2) 中可见, 虽然音节知觉为重的次数与低音点 ( $r = 0.28^{**}$ ) 和音域 ( $r = 0.19^{**}$ ) 显著相关, 但其相关程度低于与高音点的 ( $r = 0.35^{**}$ )。这说明无论是音域平移还是高音点

提高的重音音高变化模式都得到心理感知实验的支持, 而後者的作用更直接、更明显。

表 2 音节被选为重的次数与其高音点、低音点和音域的相关系数及其显著性

	高音点	低音点	音域
选为重的次数	0.35**	0.28**	0.19**

高音点是不是词重音实现的主要声学变量? 也就是说, 语句中的重读音节表现为高音点更高, 还是整个音域的平移? 针对这个问题, 我们对语料库中选出的 524 个去声音节作了进一步的分析。

表 3 中首先给出了 524 个去声的高音点、低音点和音域的相关分析。从表 3 中可以看出, 高音点和低音点是高相关的 ( $r = 0.659^{**}$ ), 说明高音点和低音点的变化方向是一致的。这为音域平移的理论提供了一些证据。但是, 高音点和音域显著高相关 ( $r = 0.728^{**}$ ), 而低音点和音域间的相关不显著 ( $r = -0.037$ ), 说明音域的展开主要是由于高音点的提高。综合来看, 重读音节音域的展开是由高音点和低音点共同变化实现的, 高音点的提高会带动低音点提高, 但是, 高音点的提高更大, 而低音点的变化较小。

表 3 高音点、低音点和音域的相关系数及其显著性

	高音点	低音点	音域
高音点	1	-	-
低音点	0.659**	1	
音域	0.728**	-0.037	1

对于某一个音节, 它在语料库不同句子中位置不同, 轻重不同, 所以音高也不同。把这个音节的所有音高值放在一起, 就可以看出高音点和低音点的变化方式。当某个音节被重读时, 可能出现音域平移、高音点上升、低音点下降或音域扩展等几种主要的变化模式。

图 2 给出了“到”和“叫”的音高分布图。容易发现, 高音点的差异可以达到 100 Hz 以上, 而低音点的分布相对集中。47 个“到”中只有 9 个低音点大于平均值一个标准差以上, 20 个“叫”中只有 1 个。另外, 这些低音点明显高的音节可能不是由于重读出现的音域平移, 而是因为它们在韵律短语中的位置。9 个低音点高的“到”中有 8 个都是在韵律短语首。沈炯<sup>[5]</sup>指出低音线的渐降与节奏群有关, 音节在韵律短语首时, 低音点更高。图 2 中这种低音点较高的音节并不多, 正说明了低音点的变化幅度总体较小, 低音点与高音点以同样大小变化的情况并不多见。

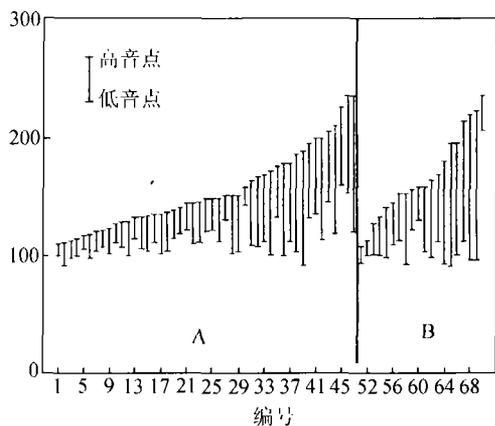


图2 语料库中音节“到”(A)和音节“叫”(B)的高音点和低音点分布。

所选的 524 个去声的音高描述统计分析结果见表 4。

表 4 去声音高描述统计分析

	个数	音高	平均值 /Hz	标准差 /Hz
去声	524	高音点	166	38
		低音点	115	26
“到”	47	高音点	155	34
		低音点	113	15
/DAO4/	70	高音点	157	34
		低音点	112	18
“叫”	20	高音点	166	36
		低音点	107	25
/JIAO4/	29	高音点	170	33
		低音点	107	21
“去”	26	高音点	148	36
		低音点	111	25
“看”	36	高音点	186	39
		低音点	135	37

由表 4 中可见, 524 个去声高音点的标准差 (38 Hz) 大于低音点的 (26 Hz)。这说明低音点分布相对集中, 变化幅度小, 而高音点的变化幅度要大得多。对 524 个去声中出现次数较多的音节 (“到”、“叫”、“去”和“看”) 分别分析, 结果也是一样的, 高音点的分布比低音点离散, 虽然“看”这个音节的高音点和低音点分布的离散程度没有太大差别。总体来说, 高音点和低音点以大致相同的水平提高, 即音域平移的现象并不多见。

从表 4 中还可以看出“到”和对应不同汉字都读 /DAO4/ 的音节的音高分布是基本一样的, “叫”和 /JIAO4/ 也是一样的。因此第 2 部分的问答匹配实验中以 /DAO4/ 为代表音节, 而不是以“到”或“道”这个字所对应的音节。

某一音节在不同的句子中的音高值不同, 一方面与该音节重读与否有关, 另一方面与音节所处韵律短语的位置有关。进一步地, 不同位置的重读音节其音高变化模式可能不同。问答匹配实验主要对韵律短语不同位置上重读音节和非重读音节做了比较。

## 2 问答匹配实验

问答匹配实验是请多位发音人朗读带有 /DAO4/ 的简单句子。系统安排 /DAO4/ 在句中的位置并用问答匹配的方式引导 /DAO4/ 被重读或不被重读。

### 2.1 方法

本实验共有 21 个基本句, /DAO4/ 在句首、中、末各 7 句。句子的平均长度为 7 个字, 句子内部没有明显的停顿, 可以看作是一个完整的韵律短语。为了与后面语料库分析一致, 音节的位置统称为韵律短语首、中、末。每个基本句都有两个引导问句, 一个问句是使发音人用基本句回答时强调 /DAO4/, 另一个问句则是用基本句回答时不强调 /DAO4/。

发音人为 4 名男性和 7 名女性研究生, 说标准普通话, 平均年龄为 25 岁。

录音时, 话筒距发音人的嘴 10 ~ 15 cm。42 组实验句中每组有问句和答句。实验句的顺序随机排列。录音时首先给发音人播放问句, 要求发音人朗读对应的答句, 并将应该被强调的内容正确地、自然地表达出来。发音人的声音经声卡采样后, 直接存入计算机, 采样率为 11.25 kHz。

### 2.2 结果与讨论

音节在韵律短语首、中、末重读与非重读相比, 音高变化模式见图 3。从图 3 中可见, 在非重读的情况下, 无论高音点 ( $F = 49.53^{**}$ ) 还是低音点 ( $F = 50.89^{**}$ ) 都有明显的渐降趋势。即音节在韵律短语首时高音点和低音点更高, 在韵律短语末高音点和低音点都相应下降。这为高音线-低音线渐降的语调模式提供了证据。

当音节被重读时, 对于高音点, 音节在韵律短语首、中和末音高都显著升高, 单因素方差分析结果分别为  $F(150) = 12.26^{**}$ 、 $F(150) = 23.32^{**}$  和  $F(150) = 87.13^{**}$ 。对于低音点, 音节在韵律短语首和中音高没有显著变化, 单因素方差分析结果分别为  $F(150) = 0.45$  和  $F(150) = 1.29$ , 音节在韵律短语末, 低音点显著升高,  $F(150) = 6.13^*$ 。由此可见, 当音节被重读时, 高音点的升高幅度大于低音点的。而且, 高音点

的升高不受位置的限制,即使在韵律短语末高音点也可以升到很高。低音点在韵律短语末即使升高,升高的程度也很有限。低音点的变化不如高音点自由,受渐降的低音线限制,或者说低音点是被低音线绑住的。

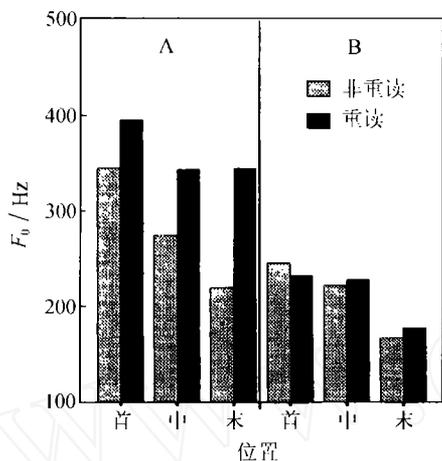


图3 句中不同位置上重读与非重读音节音高比较, A 为高音点的比较, B 为低音点的比。

另外,在韵律短语首的音节被重读时,低音点略有降低。这可能是因为,在韵律短语首音节的低音点较高,被重读后不可能升得更高了。也可能是因为非重读的去声常读为半去,重读时读全去,这样重读时低音点降低。但如果是这样,韵律短语中和韵律短语末的音节也应该出现去声被重读时低音点更低的现象。实验结果是,韵律短语中和末的音节重读时低音点升高,特别是到了韵律短语末,低音点的升高是显著的。因此,韵律短语首低音点的降低更多的还是位置的原因。也就是说,处于不同位置的低音点的变化是不同的,而且音节重读时,低音点并不是一定表现为升或降,这也与渐降的低音线是节奏群的标志的假设相一致。因此,重读音节主要的声学相关物是高音点的升高而不是低音点的变化。

这个实验主要是用去声作为研究对象,去声可以较好地代表音域上限和下限,但是去声也会出现读半去的情况。这样,去声的低音点就不能很好地反映出音域下限的变化。第3部分将以大规模语料库为基础,从听者的角度对4个声调作全面的分析。

### 3 语料库分析

问答匹配实验是对很有限的发音材料进行多发音人分析。语料库分析则是对一个人的大量发音材料进行分析。问答匹配实验是从说话者的角度,即重音产生来研究的,语料库分析则是从听者的角度,即

重音知觉来研究的。

#### 3.1 材料

该语料库为一位女性专业播音员朗读500句话(7962个音节),句子平均长度为15个字,朗读风格为新闻体,语速适中,没有特别的感情色彩和强调。

#### 3.2 韵律标注方法

韵律标注分重音标注和停顿标注。重音标注是请被试听过句子后分两级标出句中的重音。停顿标注请被试分三级标出句中的停顿。44名被试为有良好的普通话背景是北京籍大学生。随机安排一半被试做重音标注实验,另一半做停顿标注实验。500句话分3次给被试播放,每次实验时间1h左右。被试参加两次实验的间隔不少于2h,以避免被试对实验感到疲劳或厌倦。实验时,每个句子播放两遍。

#### 3.3 结果与讨论

该语料库中句子的平均长度为15个音节,这样的句子在朗读时总是分为不同的韵律短语的。音节的音高一方面受其在句中位置的影响,另一方面更多地受着它在韵律短语内位置的影响。根据停顿标注结果将音节在韵律短语内的位置标为首、中和末。根据重音标注结果,将重音标注值在平均值以上的定为重,平均值以下的定为非重。

音节在不同位置上重读与非重读的音高比较见图4。有趣的是,比较图4和图3发现,用语料库方法和问答匹配方法得到的结果是一致的,以去声为材料和考虑所有声调的结果是一致的。这说明问答匹配实验中选取去声为目标音节是合理的,实验得到的结论是可靠的。

图4中同样发现了:(1)对非重读音节,存在高音线-低音线渐降语调模式。(2)对重读音节,音节在韵律短语首( $F(1915) = 25.18^{**}$ )、中( $F(4078) = 73.46^{**}$ )和末( $F(1935) = 67.51^{**}$ ),高音点都显著升高。(3)高音点的变化幅度大于低音点的变化幅度。

图4中与图3中结果不一样的集中在低音点的变化上。对重读音节,在韵律短语首和韵律短语中低音点显著降低( $F(1915) = 14.07^{**}$ ,  $F(4078) = 13.53^{**}$ )而在韵律短语末低音点的变化不显著( $F(1935) = 2.15$ )。这个结果与图3中的结果恰好是相反的。另外,图4中韵律短语中的音节重读时低音点下降,而图3中韵律短语中的去声被重读时低音点略有提高。这是因为语料库分析是综合4个声调的,可能与其它声调的固有特征有关。下面对4个声调分别分析。

由于阴平声只有音高特征而没有音域曲拱变化,重读时平均音高升高,这里对阴平声不做进一

步分析。

不同位置阳平声重读的音高变化见图 5, 去声见图 6。

从图 5 和图 6 中看出阳平声和去声被重读时的音高变化大致相同, 与图 3 和图 4 的结果都是一致的。不同的时, 阳平声被重读时低音点降得更低。

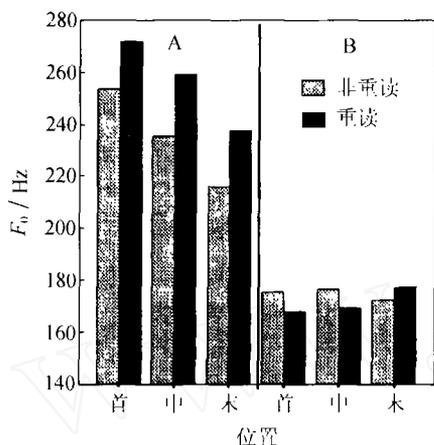


图 4 韵律短语不同位置上重读与非重读音节音高比较, A 为高音点, B 为低音点。

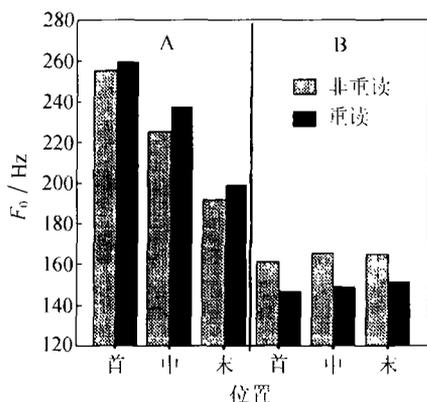


图 5 阳平声在韵律短语不同位置上重读与非重读音节音高比较, A 为高音点, B 为低音点。

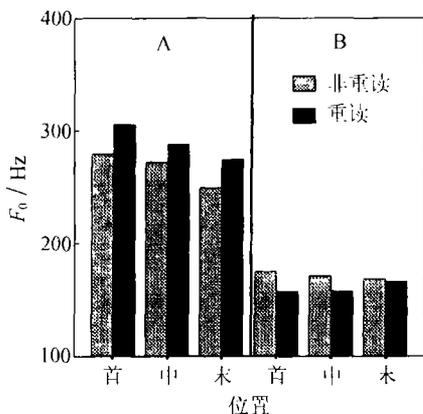


图 6 去声在韵律短语不同位置上重读与非重读音节音高比较, A 为高音点, B 为低音点。

对语料库中的 471 个非重读和 47 个重读上声进行统计分析, 其中, 不包括上上连读的情况。在韵律短语不同位置上的上声重与非重两种情况下, 上声与其前后音节的音高比较见图对上声前后音节的音高分析见图 7。

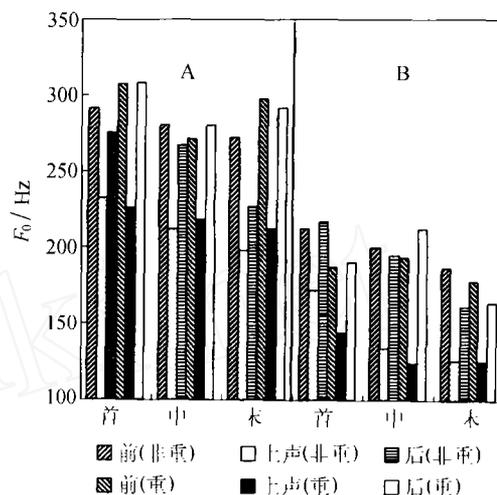


图 7 上声在韵律短语不同位置, 重读与非重读时音高及其前后音节音高的比较, A 为高音点, B 为低音点。

图 7 中上声被重读时, 高音点没有明显升高, 变化不大, 但低音点却明显地降低了。上声的重读时低音点更低, 低音点更低的程度比阳平声更明显。另外, 上声被重读时高音点不是一定要升高, 在韵律短语首的上声重读时高音点降低了。但在韵律短语中和韵律短语末上声被重读时, 高音点还是升高的。孔江平<sup>[9]</sup>用曲线拟合和矢量化技术对汉语双字词声调组合进行模式归类中也有类似发现, 即音高曲线的差异主要是声调高音点的不同。上声具有低音特性, 上声重读时, 从音高上看上声已经在调域较低的情况下, 低音点很难降得更低了。当然, 上声重读时低音点下降的现象还是存在的。从图 7 可见, 上声重读与非重读相比, 其前后音节的高音点都有显著地提高, 低音点的变化相对较小。上声重读时, 其后音节升高的程度比前音节大。因此, 上声重读时音高变化主要表现是相邻音节, 特别是后音节高音点的提高。总体来说, 高音点的提高是重读音节主要声学线索, 而低音点的变化一是程度不如高音点明显, 二是低音点升高或下降与固有声调和音节在韵律短语中的位置等因素有很大关系。

从这些图中可以发现, 无论高音点还是低音点都随着音节在韵律短语中的位置向后而呈现明显的下倾趋势。除了阳平声以外, 音节被重读后, 低音点的提高都没有高过韵律短语首的音节的低音点。与高音点相比, 低音点不是重读音节的标志。低音点的提

高可能是高音点升高对低音点有一定的带动作用,但低音点在这种作用下的升高很受位置的影响,到了韵律短语末,低音点的升高非常有限。有时,特别是上声,重读音节的低音点降的更低,以使重读音节发音更充分。高音点和低音点提高大致相同的程度,表现为音域平移的现象并不多见。

从发音的生理角度来看,人在日常说话时总是用最省力的原则发音,而低音线保持不动,高音线变化,声带紧张度最低。相比之下,音域的平移要求声带极为紧张,人在激动或有特别的表达感情需要时可能会用音域平移的方式强调相应的词。同样地,通过时长的延长,能量的增加也可以达到强调的目的。

#### 4 结论

本文对汉语重读音节的音高变化作了系统的研究,研究方法结合了心理感知实验、问答匹配实验和语料库分析,从发音人和听者两个角度在汉语语调基础上探讨了重读音节的音高变化模式。这个语调模型是高音线-低音线双线模型,高音线和低音线是高音点、低音点连接而成的。实验结果表明,当句中某个音节被重读时,主要是通过高音点的提高实现的,低音点的变化受低音线的限制。

第 1 部分的心理感知实验发现高音点是重音知觉的主要声学相关物,与低音点和音域相比。这反映出,高音点不只是说话人为了实现强调的一种变化指标,也是听话人判断重音的指标。

高音点是词重音知觉和产生的主要声学相关物。重读音节的音高变化是在高音线-低音线双线语调模型的基础上进行的。其中高音点的变化更加自由,基本上不受语调上线的制约,而低音点的变化则受到语调下线的制约,重读音节的低音点也不是一定要提高。高音点的变化比低音点更加显著,高音点的提高是句中重读音节的主要声学表现。上声的情况相对复杂,重读时会出现低音点下降的情况,但上声重读更多地表现在相邻音节高音点升高上。

高音线-低音线双线语调模型中,高音线起落的变化及前后音节高音点的对比关系表明句中音节的重读程度。

#### 致谢

本文在实验和写作过程中得到了多方面的支持和帮助。在此作者要感谢中科院心理所郑波、周迅溢两位研究生,社科院语言所曹剑芬研究员,首都师范大学教科院郭春彦教授和中科院声学所贺琳女士。另外,作者还要感谢吴宗济先生和沈炯教授在心理所做的精彩报告,感谢吴宗济先生提供的文献资料。作者还要感谢两位评审人为本文提出的宝贵意见。

#### 参 考 文 献

- 1 Eady S J, Cooper W E. Speech intonation and focus location in matched statements and questions. *Journal Acoustic of Social America*, 1986; **80**(2): 402—415
- 2 Ladd R. *Intonational phonology*. Cambridge University Press, 1996: 7—29
- 3 Chao Y R. A preliminary study of English intonation (with American variants) and its Chinese equivalents, The TS'ai Yuan P'ei Anniversary Volume (Supplementary Volume I of the Bulletin of the Institute of History and Philology of the Academia Sinica), Peipint, 1932: 105—143
- 4 Lu S N, Yang Y F, Cao J F. Prosodic control in Chinese TTS system. Proc. ICSLP2000, Beijing, 2000: 21—24
- 5 沈 炯. 汉语语调构造和语调类型. *方言*, 1994; **3**: 221—228
- 6 Wu Z J. A new method of intonation analysis for Standard Chinese: frequency transposition processing of phrasal contours in a sentence, *Analysis, Perception and Processing of Language*, G. Fant et al. (Editors), Published by Elsevier Science B.V. All rights reserved, 1996: 255—268
- 7 Jin S D. An acoustic study of sentence stress in Mandarin Chinese. Ph. D. Dissertation, Ohio State University, 1996: 1—17
- 8 Fry D B. Experiments in the perception of stress, *Language and speech*. 1958(1): 126—152
- 9 孔江平, 吕士楠. 汉语双音节调位的矢量化研究. *声学学报*, 2000; **25**(2): 166—174