

参 考 文 献

- [1] Mayer L. A., et al., Conference Proceeding: Acoustics and The Sea-Bed, Bath University Press, Bath UK, 1983, 367.
- [2] Glission, T. H., *IEEE Trans., AES-6*(1970), 34—49.
- [3] J. W. Taylor, et al., *IEEE Trans., AES-24-2*(1988), 157—170.
- [4] Yasuo Taki, et al., *IEEE Trans., IT-15-3*(1960), 295—300.

普通话轻声音节的规则合成*

杨 顺 安

(中国社会科学院语言研究所)

1989年10月12日收到

在以北京话为基础的普通话中,轻声是一种很有特色的语音现象。本文根据传统语音学对轻声音节的定性描述,参考声学语音学对轻声音节的分析结果,初步归纳出一套合成轻声音节的规则。利用“普通话语音合成系统”合成出音质较满意的含有轻声音节的词语。

一、引 言

轻声和儿化一样,是普通话音系中很有特色的一种语音现象。与非轻声音节比较,轻声音节的声母和韵母,在音强,音高,音长和音色方面都有不同程度的变化。通过语音合成来研究轻声的特性,验证传统语音学对轻声音节特性的听觉印象,检验声学语音学对轻声音节的声学分析结果,进而揭示和发现轻声音节的特性和音变规律,这对语音学和音系学的研究来说,是大有好处的^[1]。

在开发较为完善的普通话语音合成系统时,轻声音节的合成也是不可避免的。如果不能合成出音质基本满意的轻声音节,那么,这种合成系统将是不完善的。

在普通话中,“几乎任何带四个正规声调之一的字,在一定条件下都能变为轻声字”^[2]。即不计声调的四百多个基本音节都可能被读成轻声,同其它音节组成带轻声的词语。由于前重音节的声调不同,后轻音节的音高特性也不同,轻声音节的数量就可能有一千多。这样一来,对录音编辑式的合成系统来说,势必加重语音

数据库的负担。然而,对参数-规则合成系统来说,只要找到从非轻声音节到轻声音节的音变规律,那就有可能按规则,将非轻声音节的有关参数转变为轻声音节的参数,合成出任何一个轻声音节来。

下面,参考传统语音学和声学语音学对轻声音节的研究结果,以及对含有轻声音节的150多个双音节词语的语图的观测结果,我们首先归纳出在音长,音高,音强和音色方面,轻声音节的音变规律,然后,列举出我们合成轻声音节的基本规则以及轻声音节的合成结果。

二、轻声音节特性的汇总

传统语音学很早就研究了北京话中轻声音节的各种表现,最近十年,又对轻声音节做了一些声学语音学的分析和研究。这些研究都为我们归纳轻声音节的音变规律奠定了基础。在此基础上,我们对发音人MZ所发的含有轻声音节的双音节词语的150多张语图做了补充性的观测。下面,就音长,音高,音强和音色四个方

* 本项目研究得到国家社会科学基金资助

表1 前重的和后轻的韵母的时长(ms)数据

韵母	前重音节			后轻音节			轻/重时长比
	样品数	平均时长	标准差	样品数	平均时长	标准差	
a	11	235.6	37.1	9	108.	8.9	0.458
i	15	208.	31.8	6	122.4	43.7	0.59
u	9	220.4	29.4	10	113.6	25.8	0.515
(sh)i	7	198.8	36.4	5	75.2	27.	0.378
e	6	194.4	18.9	5	91.2	20.	0.47
ai	12	240.6	36.7	6	116.	28.	0.482
ao	9	250.4	20.6	8	119.	10.9	0.475
an	8	230.4	12.6	5	113.6	23.4	0.493

表2 三个擦音声母的时长(ms)数据

擦声母	前重音节			后轻音节			轻/重时长比
	样品数	平均时长	标准差	样品数	平均时长	标准差	
sh	5	190.4	25.5	12	89.3	18.5	0.469
h	7	133.6	23.4	10	61.6	13.4	0.461
x	6	152.	18.3	7	91.4	23.9	0.602

面,将轻声音节的特性汇总一下。

1. 轻声音节的音长特性

几乎所有的传统语音学的研究都指出,轻声音节的持续时间相对缩短^[2-3]。声学分析表明,轻声音节的音长“为重读时长度一半左右”^[4];“各类轻声字的总平均长度与前字总平均长度之比为 60:100”^[5]。

我们测量了 150 多个前重后轻的双音节词

语的时长。表一列举了一些韵母的数据。可以看到,无论是单韵母,还是复韵母,读轻声时都比重读时缩短了约一半。

图 1 分别是这 150 多个前重音节和后轻音节的韵母时长的分布概率直方图,从图形上看,大体符合正态分布,前重音节韵母的时长均值和标准差分别为 239.2 和 41.9 ms,后轻的为 122.6 和 29.5 ms,轻/重时长比为 0.513。

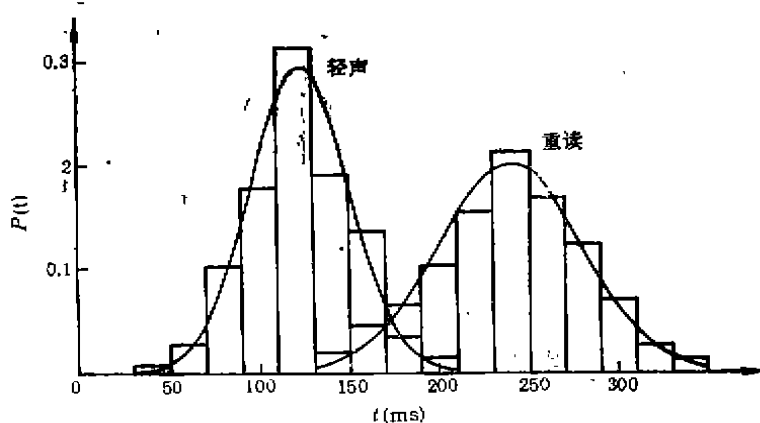


图1 前重韵母和后轻韵母的时长分布概率直方图

在声母方面,由于这些双音节语图的前字闭塞段起点无法确定,所以,不能测出塞音和塞

应用声学

擦音声母的时长,只把三个擦音声母的时长数据列于表二中。这些统计数据表明,后轻擦音

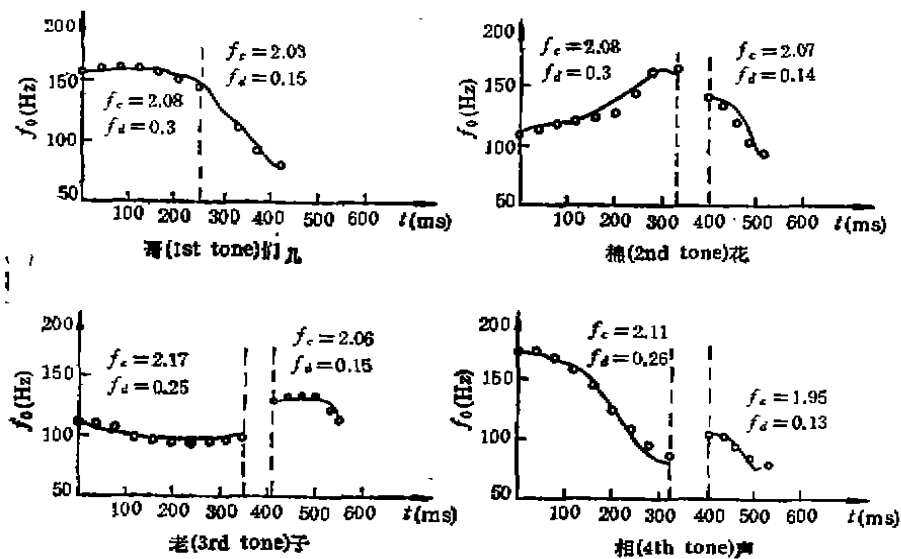


图2 前重后轻的双音节的 F_0 曲线拟合

声母的时长也只有前重擦音声母时长的一半左右。

2. 轻声音节的音高特性

传统语音学的研究特别指出,在音高特性方面,轻声音节都“失去本调”,“调域为零”,并用五度调值为阴平,阳平,上声和去声后的轻声音节分别标定了2,3,4和1的调值。有语音学家还指出,阳平和去声后的轻声“听起来仿佛是轻短的去声”^[6]。

声学分析表明^[4-5],阴平,阳平和去声后的轻声音节的声调曲线,确实呈下降趋势;而上声后的声调曲线,先平后降。

我们用普通话字调模型^[7],分别拟合出前字为阴平,阳平,上声和去声,后字轻声时的 F_0 曲线,从图二的示例看来,拟合曲线与实测值(圆点)还比较吻合。

3. 轻声音节的音强特性

传统语音学的研究都认为,轻声音节的音强是比较弱的。一般说,轻声音节听起来不如重读音节响亮,但声学上的音强特性却呈现出较复杂的情况。根据对前重后轻的双音节语图中的音强幅度曲线的观测,轻声音节的音强既有小于,也有等于,甚至大于前重音节的音强的^[4-5]。这是因为字音的音强与能量跟字音的构造有关^[4]。文献[5]的研究者特意挑选了21对

叠字型轻声词做了测量,结果表明,前字为阴平,阳平和去声时,后轻的音强幅度平均值分别降低8.15,4.65和7.93dB;而上声后的轻声音节的幅度则比前重的大了0.82dB。

4. 轻声音节的音色特性

同一音节,读成轻声时,在音色上,与重读时是有差别的。在声母方面,最明显的是不送气清塞音和清塞擦音常常浊化^[2]。文献[5]的研究者的抽样数据表明,浊化比例约60%。我们观测了113个清声母的轻声音节的语图,其中48个浊化,浊化比例为41%,有几例送气声母和擦音声母也浊化了(如“苗条”,“时候”等)。

在韵母方面,轻声音节的主要元音被央化是普遍公认的。另外,轻声音节的复合元音韵母的动程也会缩小^[5]。

许多研究者还指出,在去声后,声母为 f 、 c 、 s 、 ch 、 sh 等轻声音节里的高元音趋向于清音化^[2]。然而,在我们观测的发音人MZ的语图中,象“丈夫”、“爱惜”等中高元音无一例清音化。看来,这种清音化效应并非每人每次都会出现。

观测语图还发现,轻声音节中的鼻韵尾也会消失。在我们观测的62个轻声鼻韵母中,有59例鼻尾消失,占95%;以此相对照,前重的42个鼻韵母中,只有6例鼻尾消失,占14.3%。

看来,这种效应并非偶然的。

三、轻声音节的合成方案

在我们所开发的“普通话音节合成系统”中^[8-9],以声母和韵母为单元,存储了合成普通话全部音节所需的声学参数和数据(如各音段的时长和共振峰频率目标值等)。这样一来,只要将从重读音节到轻声音节的上述音变规律,归纳成本合成系统所能采用的合成规则,就可以利用该系统原有的语音参数数据库,实现轻声音节的规则合成。例如,要想合成轻声的“道(dao)”,在程序控制下,首先取出重读时的声母 d 和韵母 ao 的合成参数,然后,按轻声规则适当修改有关参数,最后,将修改过的参数送入合成器,就可以合成出轻声音节“道”来。

根据上述轻声音节的音变规律,经过适当取舍和上机调试,我们初步归纳出来的轻声音节的主要合成规则如下:

1. 按下式分别缩短原声母段时长 T_i 和韵母段时长 T_j :

$$T'_i = 0.5 * T_i(\text{ms})$$

$$T'_j = 0.5 * T_j(\text{ms})$$

式中,字母左上角加撇者表示轻声(下同)。

2. 在我们的合成系统中,音高基频 F_0 是

由“普通语字调模型”产生的^[7],合成前重后轻的双音节词语时,字调模型的参数见表三:

表3 前重后轻型的双音节的字调模型参数

重读前字			轻声后字		
F_c	F_d	K_0	F'_c	F'_d	K'_0
2.1	0.3	1	2.04	0.15	4
2.1	0.3	2	2.06	0.15	4
2.1	0.3	3	2.08	0.15	1
2.1	0.3	4	1.95	0.15	4

表中, F_c 是字调中值, F_d 是字调调域, $K_0 = 1, 2, 3, 4$, 对应于阴平、阳平、上声和去声。调中值标志着某一类特定嗓音(如男声或女声)的基准音高;调域标志着各种声调中基频的变化范围。在字调模型中, F_c 和 F_d 都以十进对数表示,例如: $F_c = 2.1$, 即相当于基频基准值为 126Hz; $F_d = 0.3$, 即相当于基频的变化范围为 2 倍 ($\log 0.3 \approx 2$)。

图3画出了按上表数据,由字调模型产生的前重后轻的双音节的 F_0 曲线。

3. 按下式分别降低清声源幅度 A_u 和浊声源幅度 A_v :

$$A'_u = A_u - 5(\text{dB})$$

$$A'_v = A_v - 5(\text{dB})$$

4. 将韵母主要元音的共振峰频率目标值 F_i 进行央化处理,按下式计算出轻声韵母段主

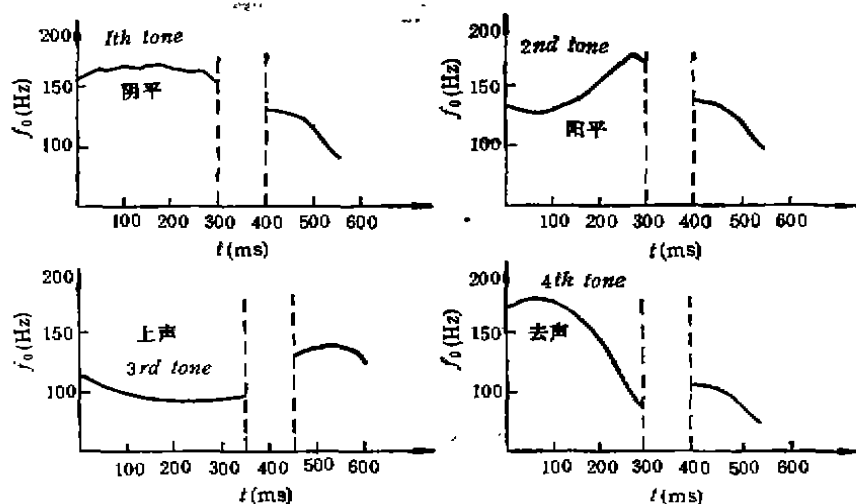


图3 合成前重后轻型双音节时的 F_0 曲线

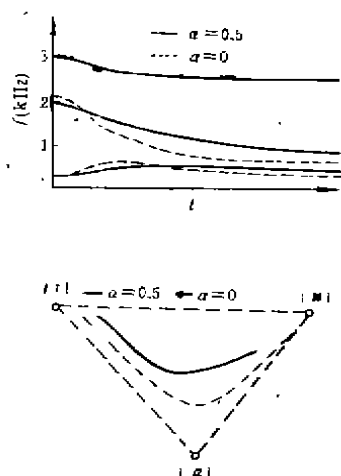


图4 /iao/ 的共振峰时变轨迹图和声学元音图

要元音的共振峰目标值 F'_i :

$$F'_i = F_i + \alpha(F_{oi} - F_i)$$

式中, $i = 1, 2, 3$ 对应于第一 (F_1), 第二 (F_2) 和第三 (F_3) 共振峰频率; α 是央化因

子; F_{oi} 是央元音 /ə/ 的共振峰频率; 当 $\alpha = 1$ 时, $F'_i = F_{oi}$, 原韵母主要元音被完全央化; $\alpha = 0$, 不发生央化。图4分别是没有央化时和 $\alpha = 0.5$ 时, 由指数式动态模型^[10] 产生的韵母 /iao/ 的共振峰时变轨迹图和声学元音图。由于该指数式动态模型能够体现复合元音中各音位间的协同调音 (coarticulation) 效应, 所以, 虽然我们只是将韵腹元音适当央化, 但从图例可以看到, 被适当央化了的 /iao/, 动程缩小, 整个韵母都被央化了, 韵腹段尤甚。

3.5 取消鼻韵母的鼻韵尾段, 但保留韵母段的鼻化参数。

四、合成结果

采用上述轻声音节的合成方案, 利用普通话音节合成系统及其语音数据库, 我们逐个合成了《普通话常用轻声词汇》(国家语委编, 待出

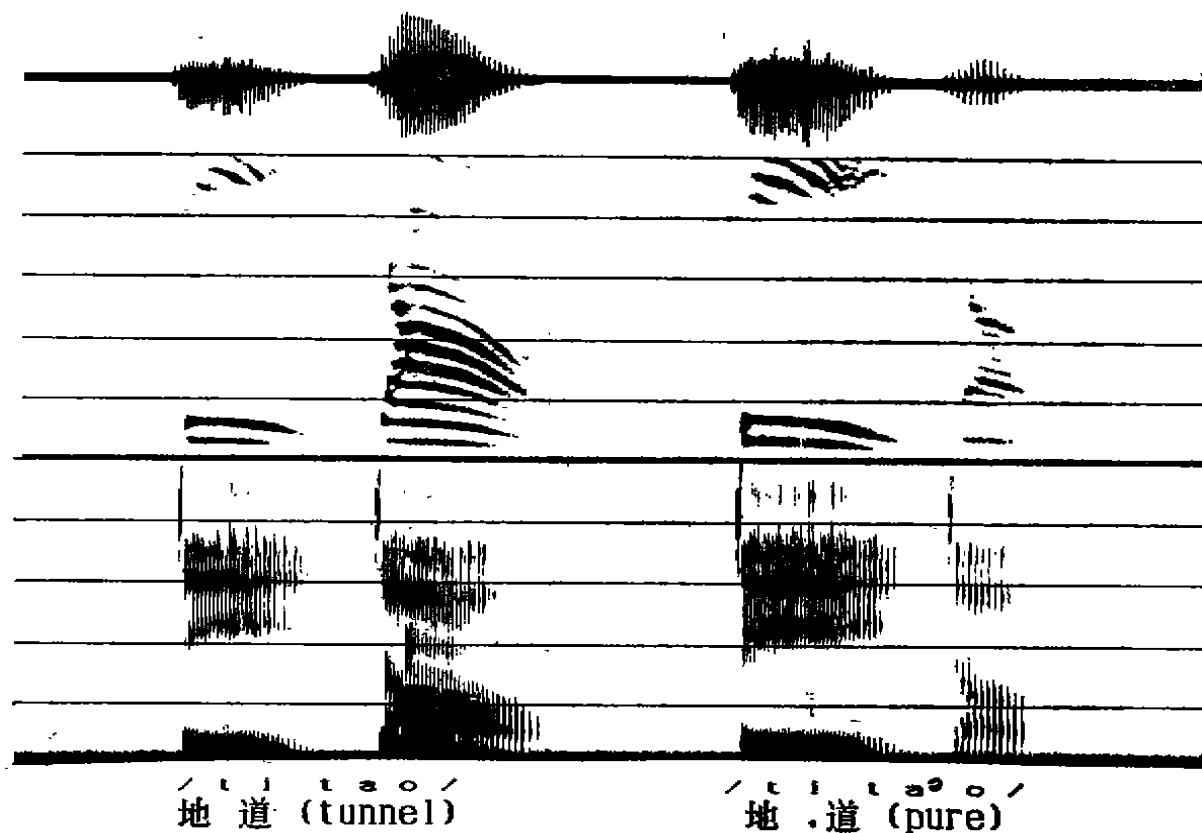


图5 中重型的“地道”和重轻型的“地·道”的语图比较

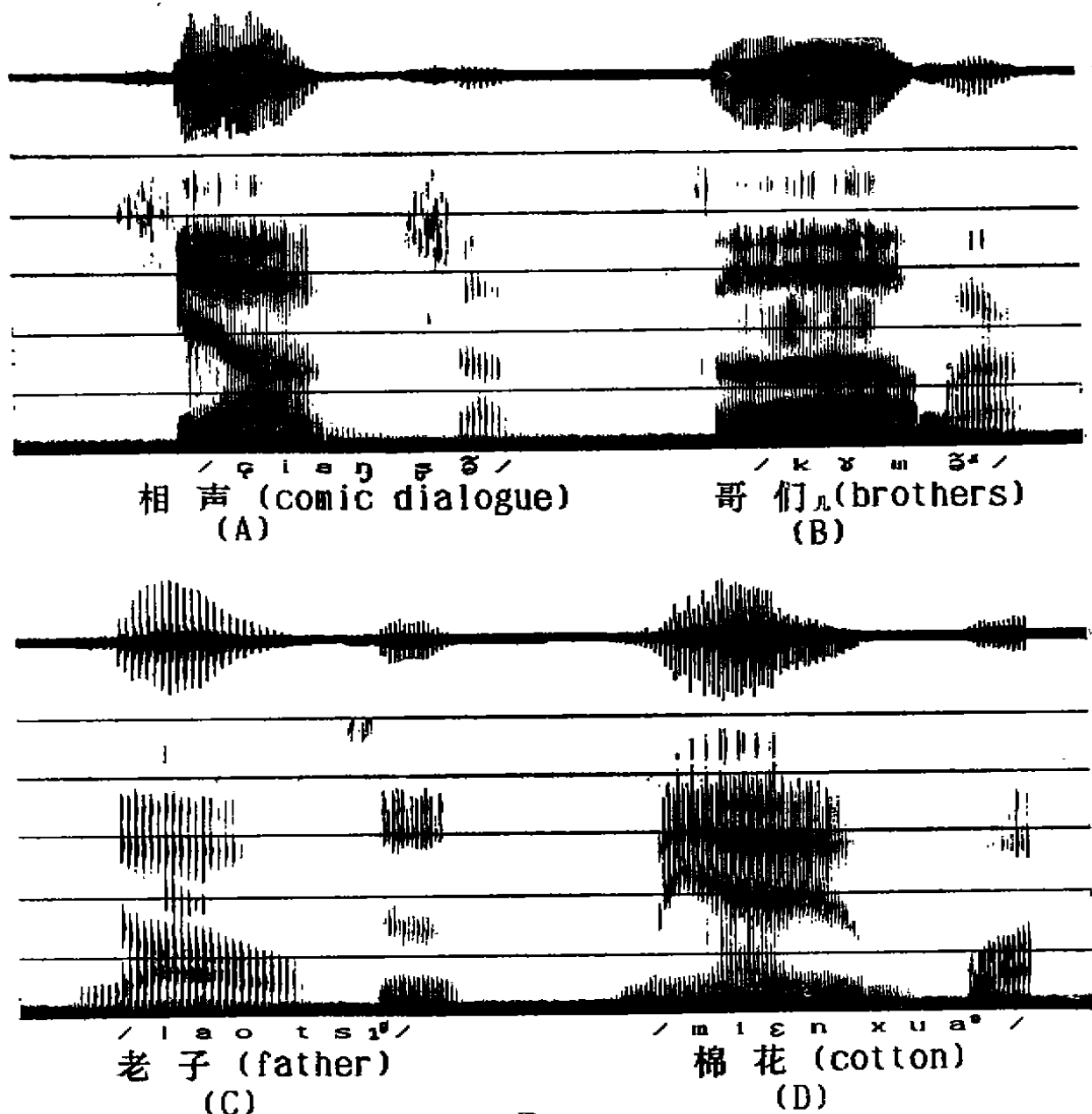


图6 前重后轻型双音节词语的语图

版)中的双音节词语。试听表明,合成的含有轻声音节的词语,大多数都较为清晰和自然,其中的轻声音节,在音强,音高,音长和音色方面,都比较满意。

图5是合成的一对双音节词语的语图对比,其中,“地道”的“道”为重读,“地·道”的“道”为轻声。

应用声学

图6是合成的几个前重后轻的双音节词语的语图,其中,合成“哥们儿”的“们儿”时,先按儿化音节的合成规则^[4],修改韵母参数,再按轻声音节的合成规则,对有关参数作进一步修改,这样,就可以合成出既有儿化味,又有轻声味的音节。

在“轻声音节特性汇总”一节中,我们讨论

过,清声母的浊化和高元音的清音化的问题.在此次初步合成中,这两方面都未涉及.尽管在实际读音中,浊化或清音化并不是每人每次必然出现的,但在今后完善轻声音节的规则合成的过程中,这些问题也必需解决.

参 考 文 献

- [1] 林海,北京话语音实验录,北京大学出版社,1985,1—26.
- [2] 赵元任,汉语口语语法(吕叔湘译),商务印书馆,1979,26—27.
- [3] 董少文,语音常识,文化教育出版社,1958,74—76.
- [4] 林茂灿,颜景助,方言,80(1980),166—178.
- [5] 曹剑芬,应用声学,5-4(1986),1—6.
- [6] 徐世荣,普通话语音知识,文字改革出版社,1980,120—121.
- [7] 杨顺安,中国语文,3(1986),173—181.
- [8] Yang, S. & Xu, Y., Proc. 1987 Intern. Conf. on Chinese Inf., 2(1987), 405—414.
- [9] Yang, S. & Xu, Y., Speech Communication, 7-3 (1988), 317—325.
- [10] 杨顺安,语言研究,2(1986),1—8.
- [11] Yang, S., The 3rd WESTPA Tech. Papers, 2 (1988), 743—745.

液体中空化声场的统计测量及其在 评估空化设备性能中的应用

郑进鸿 邱永德

(721厂)

1989年8月15日收到

利用液体中声空化现象制成的各类设备,有一个评估其性能优劣的问题.本文提出了基波谱级、谐波总声级、相对谐波总声级、内爆波谱级、总线谱声级和非线性转移效率几个参数的定义,并以这些参数来评估空化设备的性能.对统计测量上述参数的方法作了说明.

一、引 言

液体中声空化是一个十分复杂的物理现象.研究声空化现象,历来就有两个完全相背的目的,一是优化利用它,二是削弱避免它.超声清洗机、超声细胞粉碎机一类的空化设备就是充分利用空化能量来达到清洗、粉碎目的的技术装置,其它在食品、化工、医学、药物以及生物等领域内,也已出现或正在发展的多种利用液体空化现象制成的专用空化设备.

声空化设备的大量出现,给超声科技工作者提供了一个如何优化设计的问题.声空化设备的优化设计,除设计方法外,空化声场测量和对设备性能的评估是两个需要解决的重要课题.这两个问题迄今尚没有完善、统一的见解

与定论.^[1-2]

本文以工程应用角度出发,根据液体中空化形成的物理过程,提出并定义了基波谱级、谐波总声级、相对谐波总声级、内爆波谱级、总线谱声级和非线性转移效率几个表征空化声场特征参数,并以这些参数来评估空化设备性能的优劣.考虑到空化声场的强烈的随机时空变异性,我们采用了实时谱分析和统计平均的方法来测量计算上述各个参数.

二、空化声场测量依据及方法

水声学和超声学中,在线性范围的声压有明确的定义,并且对声压或声强有标准的测量方法.但是在液态介质中产生空化时应用,其定义和测量方法就产生了严重的困难.