

第二届建筑物理学术会议 论文选集

中国工业出版社

第二届建筑物理学术会议 论文选集

中国建筑学会建筑物理委员会編

中国工业出版社

本书系从1962年在北京召开的第二届建筑物理学术会议讨论的论文中选辑的45篇论文的集子。全书分为建筑声学、建筑光学、建筑热工和建筑气候四部分。内容涉及厅堂音质设计处理、声学材料和结构的性能测定、各种民用建筑的隔声构造、隔声指标、有关建筑声学测试技术、建筑光照标准制订、工业建筑采光、建筑照明、建筑围护结构传热计算、振动砖板热工性能质量,以及建筑朝向、间距、遮阳及通风等问题,大体上反映了1960—1962年间我国建筑物理科学技术研究成果。

本书可供建筑设计人员、建筑科学研究人员和高等学校有关专业师生研究参考。

第二届建筑物理学术会议论文选集

中国建筑学会建筑物理委员会 编

*

建筑工程部图书编辑部编辑 (北京西郊百万庄)

中国工业出版社出版 (北京佟麟阁路丙10号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张26·插页2·字数534,000

1966年1月北京第一版·1966年4月北京第一次印刷

印数0001—1,720·定价(科六) 3.70元

*

统一书号: 15165·3677 (建工-436)

前 言

中国建筑学会建筑物理委员会于1962年冬在北京召开了第二届建筑物理学术会议，会后，决定出版“第二届建筑物理学术会议论文选集”，并组成了论文选集编辑委员会负责编审工作。

编辑委员会于1963年初开始工作，至1964年夏审稿修改完毕，交付排印。在排印期间，时逢全国正在展开群众性的设计革命化运动，因此，根据设计革命化的精神，又于1965年春，由在北京的部分编委将印稿重复审阅一次，并作了适当的调整。

本选集包括建筑声学、建筑光学、建筑热工和建筑气候四部分，比较集中地反映了1960~1962年间我国建筑物理科学技术的研究成果。我们希望，出版这本论文选集，对建筑工作者在工作中进一步考虑建筑物理、提高建筑设计质量能有所帮助；也希望对建筑物理科学研究工作的进一步发展能起一定的推动作用。

这次送来会议有关建筑物理的各种文稿共有137篇，本选集只从其中的建筑声学部分选了31篇，建筑光学部分选了5篇，建筑热工部分选了5篇，建筑气候部分选了4篇。对于其余文稿都已作了摘要并提前刊印了摘要汇编。

在编审过程中，对于在学术会议讨论时有不同意见的文章，根据“百花齐放，百家争鸣”的方针，一律予以刊登，只在必要时加了编者按语。我们相信，这样做是有益的。

对于选编的论文，原已在国内刊物上公开发表过的，选集内只附列论文的题目和作者，以及刊物名称和出版时间，不再刊登全文。这样既可以全面地反映第二届建筑物理学术会议的讨论内容，又达到节约篇幅的目的。此外，对部分篇幅较长的论文，我们作了适当的删节。

由于文章较多，内容也很丰富，而编者的水平、见闻和时间有限，编选工作难免有疏漏之处，尚希读者和作者见谅并予指正。

中国建筑学会建筑物理委员会

1965年4月

1965.4

第二届建筑物理学术会议论文选集编辑委员会

主 編:	吳華慶	胡 璘	車世光
編 委:	馬大猷	吳華慶	羅邦杰
	魏榮爵	唐 璞	車世光
	童恩焯	陳澤勤	王季卿
	陳 鈞	皇甫蘩	朱民声
	王時煦	蔣漢文	胡 璘
	陳启高	蔣鑑明	初仁兴
	韓 利		

目 录

前 言	(I)
-----	-------

建 筑 声 学

房間清晰度函数	重庆建筑工程学院	陈启高	(1)
汉语清晰度与厅堂音质	南京大学 包紫薇	浦凤孙	(6)
房屋形状对声场扩散影响的测量	中国科学院声学研究所	饒余安	(15)
北京音乐厅音质分析及綜合性音乐厅音质設計探討	清华大学	徐亚英	(26)
北京音乐厅的声学測量	清华大学	王炳麟	(45)
厅堂音质設計中听众和座椅的吸声量問題	同济大学 王季卿	王俊賢	(60)
空間反射声线的图解法和运用	建筑工程部建筑科学研究院	曹孝振	(77)
声学材料的基本常数和測定	同济大学	章启馥	(90)
斜入射测声阻抗	南京大学 沙家正	胡春年	(103)
清华大学公寓式住宅的隔声問題	清华大学 車世光	方展和	(110)
住宅的平面布置和空气声的传播	天津大学	沈天行	(118)
間接传透与住宅的隔声	建筑工程部北京工业建筑設計院 孙万钢	費效曾	(125)
走道式房屋內的間接传声問題	同济大学 王季卿	洪宗輝	(135)
間壁空气声隔絕的現場測量	同济大学 王季卿	陆順永	(142)
同济大学宿舍工程中17种实验性隔墙的隔声	同济大学 王季卿	王季卿	(155)
实验室隔声測試方法的比較	同济大学 王謨賢	钟祥璋	(173)
居住建筑中楼板隔絕撞击声性能的 分析	建筑工程部建筑科学研究院 潘 伟 徐周民 徐 中	唐淳貞	(190)
混凝土楼板对撞击声隔絕的实验室研究	同济大学 王季卿 黄澤淦	李成安	(207)
利用工业废料作楼板隔声垫层的 研究	北京市建筑設計院 項端祈 张德山	金 銘	(227)
普通木欄栅楼板隔声的現場測定	同济大学 王季卿	龙永令	(238)
四种住宅的噪声調查和分析	同济大学 王季卿	王謨賢	(252)
住宅噪声、隔声及其評價	建筑工程部北京工业建筑設計院 費效曾	孙万钢	(267)
关于医院的噪声問題	吉林省建設厅	陈述平	(278)
北京地区中、小学建筑中的噪声調查及初步 分析	北京市建筑設計院 項端祈 张德山		(285)

建 筑 光 学

- 关于制订我国光照标准问题……………建筑工程部建筑科学研究院 张绍纲 (294)
- 有关制订天然采光规范的几个问题……………重庆建筑工程学院 楊光璿 (310)
- 工业建筑天然采光理论分析……………建筑工程部华东工业建筑设计院 朱民声 (313)
- 球类比赛馆中的比赛照明问题……………建筑工程部建筑科学研究院 孙延年 (338)

建 筑 热 工

- 关于我国南方房屋围护结构的热工计算问题……………湖南大学 陈在康 (347)
- 冬季条件下居住房屋外围结构必需热阻的
决定……………冶金工业部建筑研究院 谭天祐 (356)
- 北方地区振动砖板建筑的热工质量……………哈尔滨建筑工程学院 初仁兴 (362)

建 筑 气 候

- 从京津地区集体食堂的两个微小气候问题探讨合理的
建筑设计……………建筑工程部城市煤气工程设计院 王頤和 (371)
- 南宁地区居住建筑朝向选择的探讨……………广西建筑工程局 梅 燕、苏宗庆、傅 博 (383)
- 建筑遮阳中有关热工的几个问题……………华南工学院 林其标 (393)
建筑工程部建筑科学研究院 孙煜英
- 建筑物周围气流分布与合理确定建筑间距的
试验研究……………建筑工程部中南工业建筑设计院 张友初 (402)

附：已在國內其他刊物、图书上刊载过的论文目录

- 成都錦江礼堂音质设计问题 建筑工程部西南工业建筑设计院 建筑学报 1963年第6期
- 上海市人委礼堂改建后的音质 同济大学王季卿 上海市1961年声学会论文集
- 天馬电影制片厂摄影棚音质设计问题 上海市民用建筑设计院林寿南 上海市1961年声学会论文集
- 矩形食堂混响时间的计算 北京市建筑设计院向斌南 建筑学报 1964年第5期
- 室内声学的脉冲试验 清华大学李晋奎 清华大学学报 第11卷第1期 1964年3月
- 楔形吸声结构声学性质的研究 南京大学沙家正 高等学校自然科学学报·物理学版, 试刊第1期, 1964年
- 水泥厂細磨車間的噪声控制 建筑工程部建筑科学研究院童恩焯、黄哲伟、何 璠 建筑工程部建筑材料设计院孙增祥 建筑学报 1962年第12期
- 中国美术馆的采光设计 清华大学詹庆旋 建筑学报 1962年第8期
- 通过房屋围护结构传热量计算的简化 建筑工程部建筑科学研究院胡璘 建筑工程部华东工业建筑设计院陆今钟 同济大学許邦令 “炎热地区建筑降温”中国工业出版社出版 1965年7月
- 論采用最冷五天平均温度作为采暖室外计算温度中的两个问题 哈尔滨建筑工程学院郭駿 哈尔滨建筑工程学院学报 1963年第1期

房間清晰度函数*

重庆建筑工程学院 陈 启 高

〔提要〕：提供房間清晰度理論。导出房間清晰度与評定房間音质的单一化变量之間的表示式，引用实验数据证明理論的正确性。

苏联 E. E. 哥里柯夫在他的論文〔1〕里提出了評訂房間音质的单一化变量的理論，并根据这一理論建立了房間的单一化变量与房間的清晰度間的一一对应的函数关系，而这个一一对应的函数关系是建立在試驗基础上的。本文试图就这一关系提供理論证明，从而得到这个关系的数学表示式。

一、关于 E. E. 哥里柯夫的房間的单一化变量

E. E. 哥里柯夫用試驗及理論证明对于設計剧院、讲堂、电影院、电影制片厂等的音响房間的音质問題，能够采用他所提出的新的单一化变量作評定，因为在房間某点的这个变量，与房間的該点的清晰度之間，存在着对应的函数关系(实验的)，即：

$$A = f(Q'') \quad (1)$$

式中：A——表示房間某点的清晰度；

Q'' ——哥里柯夫房間单一化变量。

为叙述方便起见，本文将哥里柯夫房間的单一化变量簡称音质新变量（哥里柯夫本人叫它做評定房間音质的新系数）。音质新变量 Q'' 表示如下：

$$Q'' = \frac{(E_p + E'_d) TK_r}{E''_d + E_h} \quad (2)$$

式中： E_p ——直接声的声能密度，用下式計算：

$$E_p = \frac{P}{4\pi cr^2} \quad (3)$$

而 P ——声源功率；

r ——声源到听点的距离；

c ——声速；

E'_d ——有益反射声能密度，用下式計算：

$$E'_d = \frac{P}{V} \int_{t=0}^{t=\frac{1}{16}} H(t) dt \quad (4)$$

* 本文在学术会议上报告时，曾引起热烈的討論。有人认为，根据苏联 E. E. 哥里柯夫(Голиков) 清晰度指标計算公式加以修正后，能否用于汉语清晰度的計算，是还值得研究探討的；并且认为，这一結論的实际价值，尙有待实践证明。——編者

E''_a ——有害的反射声能密度，用下式计算：

$$E''_a = \frac{P}{V} \int_{t=\frac{1}{16}}^{t=\infty} H(t) dt \quad (5)$$

T ——房間的交混回响时间；

$H(t)$ ——房間交混回响的衰变函数，根据统计理论所得的计算式为：

$$H(t) = e^{-13.8 \frac{t}{T}} \quad (6)$$

若将 (6) 式代入 (4) 和 (5) 式中得简单计算式：

$$E'_a = \frac{PT}{13.8V} \left[1 - e^{-\frac{13.8}{16T}} \right] \quad (7)$$

$$E''_a = \frac{PT}{13.8V} e^{-\frac{13.8}{16T}} \quad (8)$$

E_b ——噪声的声能密度；

K_r ——声音的响度的降低系数，用下式计算：

$$K_r = 0.038 N_r e^{-\frac{N_r}{70}} \quad (9)$$

而 N_r ——有益声的声强级，有：

$$N_r = 10 \lg \frac{E_p + E'_a}{E_0} \quad (10)$$

E_0 ——相当于声强级为 0 级时的声能密度。

可见音质新变量 Q^* 是综合了各种影响房间中清晰度的因素的；并且已经将所有的主要影响清晰度的因素考虑得很全了，从已经从实验上证实它与清晰度之间的一一对应的函数关系就证明了这一论断。音质新变量的提出，提供了从理论上获得清晰度函数的表示式的可能性。

二、基本假定及清晰度微分方程

房间的清晰度 A 与房间音质新变量 Q^* 间的关系，就是感觉量与刺激量之间的关系，它们基本上是符合伟伯—费昔勒定律的。但不是完全符合，因为根据伟伯—费昔勒定律，在刺激量与感觉量之间应当有关系：

$$dA = C \frac{dQ^*}{Q^*} \quad (11)$$

式中： dA ——房间清晰度增量，即感觉的增量；

dQ^* ——房间新音质变量的增量，即刺激量的增量；

C ——比例系数。

事实上 (11) 式是不正确的，由于根据它会得到荒谬的结论，即当房间新音质变量 Q^* 无限制增加时，房间清晰度也将无限制增加，这是不可能的；因为房间的清晰度充其量是

对語言完全听清楚，即是，用百分数表达时，清晰度 A 最大限度等于100；而用分数表达，清晰度最大限度等于1。

根据上面指出的情况，对于房間的清晰度 A 与房間的新音质变量 Q^* 之间的关系，应当在根据韦伯—費昔勒定律所得到的(11)式中引进一修正因子加以修正。修正后新的关系式如下：

$$dA = C (1 - A)^n \frac{dQ^*}{Q^*} \quad (12)$$

式中 $(1 - A)^n$ 就是引入的修正因子； n 是某一大于0的常数。

引入这个修正因子的理由是：由房間新音质变量的增量 dQ^* 所引起的房間清晰度的增量 dA 是随清晰度本身之增加而减少的。这个因子的正确性可以从(12)式得到证明：如果 $A=1$ 时，則应有 $dA=0$ ，即是說，当此时，无论新音质变量的增量怎样增加，房間的清晰度也不会增加，这是完全合乎邏輯的。

公式(12)叫它做房間清晰度微分方程。

三、清晰度微分方程的积分

在分离变量后，微分方程(12)改写成：

$$\frac{dA}{(1 - A)^n} = C \frac{dQ^*}{Q^*} \quad (13)$$

在上式中，如果 $n \neq 1$ （假定 $n=1$ 时，仍然是可以积分的；这只是一种特殊情形，姑且置之），那末(13)式的积分为：

$$\frac{1}{(n-1)(1-A)^{n-1}} = C \ln Q^* + C_0 \quad (14)$$

式中： C_0 ——积分常量，确定于某一对已知数据，例如当 $Q^*=1$ 时， $A=A_0$ 則有

$$C_0 = \frac{1}{(n-1)(1-A_0)^{n-1}} \quad (15)$$

从(14)式中解出 A 且将(15)式中 C_0 之值代入而得：

$$A = 1 - \frac{1}{\sqrt[n-1]{(n-1)C \ln Q^* + \frac{1}{(1-A_0)^{n-1}}}} \quad (16)$$

四、关于指数 n 的确定

在(16)式中的指数 n ，它是表征語言性质的。这个值的确定能够根据試驗确定。

这样一来，将(16)式用到各种語言，只要利用三个实验数据，就能确定指数 n 、积分常数 C_0 和比例系数 C 。对于俄語、英語，根据哥里柯夫的試驗及其綜合他人試驗結果（表示成曲线的），取其中三組数据就得确定指数 n 、积分常数 C_0 和比例系数 C ，例如，取：

$$Q^* = 1 \quad A = A_0 = 0.5$$

$$Q^* = 1.3 \quad A = 0.8$$

$$Q^* = 1.6 \quad A = 0.86$$

将它们代入 (15) 式和 (14) 式中得到:

$$C_0 = \frac{1}{(n-1)(0.5)^{n-1}} \quad (17)$$

$$\frac{1}{(0.2)^{n-1}} = (n-1) C \ln(1.3) + (n-1) C_0 \quad (18)$$

$$\frac{1}{(0.14)^{n-1}} = (n-1) C \ln(1.6) + (n-1) C_0 \quad (19)$$

将 (17) 式代入 (18) 式和 (19) 式中, 移项整理后即得:

$$\frac{(0.5)^{n-1} - (0.2)^{n-1}}{(0.2 \times 0.5)^{n-1}} = (n-1) C \ln(1.3) \quad (20)$$

和

$$\frac{(0.5)^{n-1} - (0.14)^{n-1}}{(0.14 \times 0.5)^{n-1}} = (n-1) C \ln(1.6) \quad (21)$$

将 (20) 式除 (21) 式, 得到关于 n 的方程式:

$$\frac{(0.5)^{n-1} - (0.14)^{n-1}}{(0.5)^{n-1} - (0.2)^{n-1}} \times \frac{(0.2 \times 0.5)^{n-1}}{(0.14 \times 0.5)^{n-1}} = \frac{\ln(1.6)}{\ln(1.3)} = 1.79 \quad (22)$$

关于方程 (22) 之解是比较困难的, 但是能够用经验方法求其近似解, 假定 $n=2$, 则 (22) 式左方为

$$\frac{0.5 \times 0.14}{0.5 \times 0.2} \times \frac{0.2 \times 0.5}{0.14 \times 0.5} = \frac{0.36 \times 0.2}{0.3 \times 0.14} = 1.72 \approx 1.79$$

所以, 能够认为方程式 (22) 有解 $n=2$, 将此值代入 (20) 式中计算 C 值得到:

$$C = \frac{(0.5)^{n-1} - (0.2)^{n-1}}{(0.2 \times 0.5)^{n-1}} \times \frac{1}{(n-1) \ln(1.3)} = \frac{0.3}{0.1} \times \frac{1}{0.2622} = 11.44$$

这样一来, 对于合于英语、俄语等性质的语言的房间清晰度函数, 当代入 $n=2$ 、 $C_0=2$ 和 $C=11.44$ 时, 将为

$$A = 1 - \frac{1}{2 + 11.44 \ln Q^*} \quad (23)$$

根据 (23) 式计算清晰度和与根据 E.E. 哥里柯夫试验曲线读取的数据列入于表 1 中进行比较。

表1

Q'	lnQ'	11.44 lnQ'	2+11.44 lnQ'	$\frac{1}{2+11.44 \ln Q'}$	A 的計算值	A 的試驗值	誤差%
1.0	0.000	0.000	2.00	0.500	0.5	0.5	0.0
1.1	0.095	1.09	3.09	0.324	0.676	0.67	0.9
1.2	0.183	2.09	4.09	0.244	0.755	0.76	-0.7
1.3	0.292	3.00	5.00	0.200	0.800	0.80	0.0
1.4	0.338	3.84	5.84	0.171	0.829	0.83	-0.1
1.5	0.405	4.64	6.64	0.151	0.849	0.85	-0.1
1.6	0.470	5.38	7.38	0.135	0.895	0.89	0.6
1.7	0.530	6.07	8.07	0.124	0.879	0.87	0.7
1.8	0.588	6.73	8.73	0.115	0.885	0.88	0.6
1.9	0.642	7.35	9.35	0.107	0.893	0.89	0.3
2.0	0.693	7.93	9.93	0.101	0.899	0.90	-0.1
2.5	0.917	10.5	12.5	0.080	0.929	0.92	0.0
3.0	1.100	12.6	14.6	0.069	0.931	0.93	0.1
6.0	1.179	20.5	22.5	0.044	0.956	0.95	0.6
12.0	2.48	28.4	30.4	0.033	0.967	0.96	0.7
24.0	3.18	36.4	38.4	0.026	0.974	0.97	0.4

从上表的比較可以肯定：所導得的公式 (23)，与实验結果是高度吻合的。

五、关于汉语清晰度的意見

由于汉语与其他語言（尤其是俄語、英語）有很大的差別，关于清晰度的函数應該有所不同。汉语是单音文字，在講話中字与字之間，較之复音文字的語言，能有較长的時間間隔，所以汉语的清晰度与新音质变量間的关系，应当偏向增高的方面。

根据本文所得的公式 (12) 或 (16) 可見，表征語言特征的量可能是指数 n 。对于复音文字的語言，象俄語、英語那样，前面已证明 $n=2$ ，那么，对于汉语这类单音文字的語言， n 之值應該稍小于 2；对于发音比較复杂的語言可能稍大于 2。因此，姑且将 n 叫做語言特征指数。

对于汉语的語言特征指数應該是多少，上述看法是否正确尚須进一步研究。至于目前房間的音质設計，能够根据英語、俄語的結果进行，这是偏于安全的。

参 考 文 献

- [1] Е.Е. Голиков: К вопросу о новых коэффициентах качественной оценки акустик помещений, Акуст. журн., 1956, I, 3, 255—266.

汉语清晰度与厅堂音质*

南京大学 包紫薇 浦凤孙

早在1948年,魏荣爵先生曾对汉语清晰度的问题作了初步考虑和测试^[1],并在1956年南京大学声学专门化生产实习时进行了一系列的具体工作(包括汉语出现率的统计,字表的拟定,普通话测试人员的培训,各种语音清晰度的测量及统计规律的计算等等)^[2]。本报告所述的工作,是在该次测试的基础上扩展了混响时间的范围,并改善了某些测试条件的情况下进行的。

一、测试环境和方法

1. 环境:主要测试是在一间矩形房间内进行的。它的体积是 $17.5 \times 14.3 \times 4.3$ 立方米;墙壁及天花板均为石灰粉刷,地面为水泥磨石子,墙壁三面有玻璃窗,一面有木门。发音人与听众都在房间中心线上,发音人位置固定在离一面墙约1米之处,5个听众集中在一起。发音人到听众中心的距离是4.5、8.5、12.5、16.5米。混响时间靠铺设软垫及地毯来控制,变化范围是0.75~4.30秒(测试人员均在场内自己的座位上)。

每次测试时均纪录听音点的声级。各点上的声级都在67~80分贝之间,并不依距离而异。室内本底噪声级在40分贝以下,可以忽略不计。

一切客观环境的测量都是用丹麦B & K仪器进行的。

2. 字表:采用前一机部十所电话系统通话试验用的规范字表^[3],每表54个单字,表的编制已达到较为周密的语音平衡,故测验后只须计算算术平均值。

3. 方式:为现场宣读和纪录,每次读一音节,采用引句“现在唸——字”(也就是Steinberg^[4]测试英语清晰度所采用的宣读方式)。

4. 人员:一共6人,男女各半。包括三个受过专业训练的熟练的通话人员和三个能一般地听、辨和纪录汉语拼音的人员。在每种客观条件下,由三个通话人员之一轮流发音,其余五人作听众,取15人次的平均值。

这两种类型的人员是有差异的。专业通话人员纪录的清晰度比一般人员要高。但两种类型人员的差数几乎为一恒定值(详后),结果是易于校正的。

由于借用的测量场所使用期限过分短促,工作进行得急促而紧张,每天工作时间很长,疲劳可能影响了部分结果的可靠性。

* 本文在学术会议上报告时,曾引起热烈的讨论。文中对苏联Голиков的清晰度函数作了估计,指出了它的缺陷和不适用于汉语的情况。但有人认为,汉语清晰度对音质评价很重要,而根据本文所作实验所得到的结论,与其实际应用尚有一段距离,如混响时间与清晰度关系等。——编者

二、結果和分析

測量結果繪于图 1 和图 2 之中。图 1 是漢語單字、音節、音素、輔音、元音、聲母、韻母和聲調的清晰度（分別記為 W, S, s, C, V, I, F, T）與混響時間的關係。曲線為各個距離總計在一起的平均變化趨勢。图 2 為除“T”以外上述諸量與距離的關係。

從這些圖上可以看出一些規律：

1. 从图 1 可以看出，除 T 以外，其余各种語音的清晰度均随混響時間的增加而逐漸下降。

2. 图 2 指出，在 16.5 米以內，這几种語音的清晰度随距離而變的現象并不明显，但长

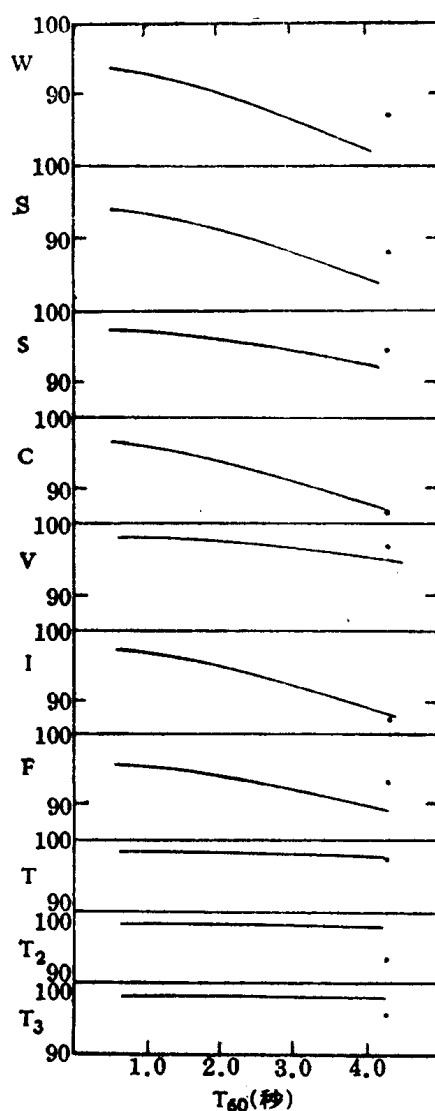


图 1 漢語各種語音清晰度随混響時間變化的情況

W, S, s, C, V, I, F, T, T₂, T₃ 分別代表單字、音節、音素、輔音、元音、聲母、韻母、聲調、陽平、上聲的清晰度

混响时，距离对清晰度的影响，比短混响时要显著一些。例如图2中混响时间1.9秒时，各种清晰度随距离增加而下降的现象，比0.75秒时要容易觉察一些。

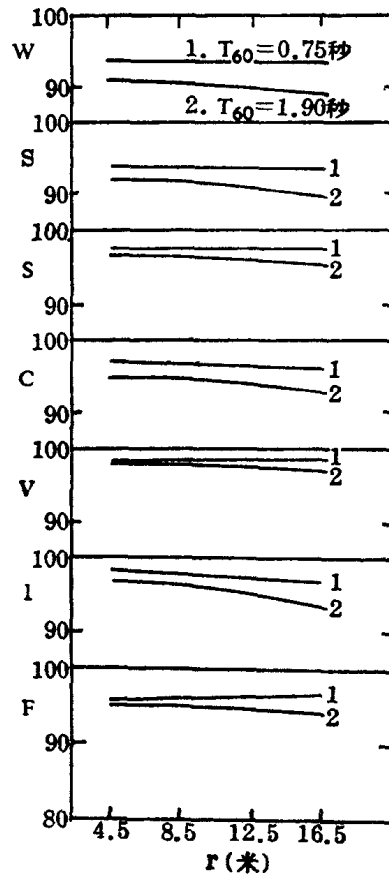


图2 汉语各种语音清晰度随距离变化的情况

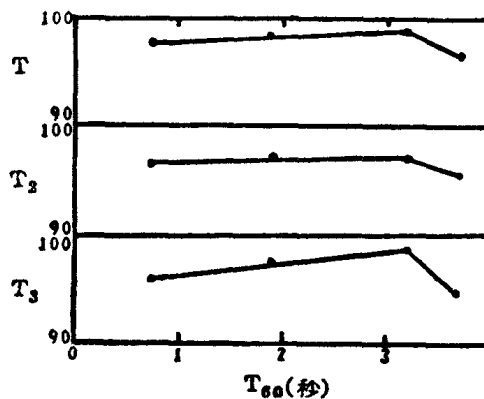


图3 距离较远之处四声平均清晰度 T 、阳平清晰度 T_2 、上声清晰度 T_3 随混响时间变化的情况($r=16.5$ 米)

3. 除上述一般规律外，还有一些特点：

(1) 当混响时间在4.3秒以内变化时，声调平均清晰度的变化十分轻微，图1中 W 和 S 差别不大，也反映了这一点。研究不同距离上的情况，发现在远距离($r=16.5$ 米)上，

随着混响时间的增长，声调平均值 T 、阳平和上声的清晰度 T_2 、 T_3 反而略有增加的趋势，至少在混响3.2秒以前是这样（图3）。这也许是声调具有音乐性，在远距离上混响略长反而有助于听辨之故。

另外，阴平和去声的清晰度（ T_1 、 T_4 ）始终很高，在98~100%之间波动。这是由于阴平音高几乎不变，去声则音高一直下降，首尾幅值也最大，都是容易分辨的。

（2）元音清晰度很高，且受混响的影响不大。这与我們1956年的测量结果是一致的。

（3）韵母曲线随混响时间增加而下降的趋势比元音快得多，其数值亦较元音清晰度为低。可见韵母中易错的是韵尾辅音。这与我們的主观感觉是一致的。经常是 n ， ng 互错，或 ian 误为 ie 等。

（4）和1956年的结果不同，此处的声母曲线数值较低，下降较快。原因是两次宣读方式不同，此次声母受到了引句的混响掩蔽。

（5）辅音的下降率亦如此。这可以归之为声母辅音和韵尾辅音二者的总贡献。

主观因素如疲劳及熟练程度等，对清晰度测试结果是有程度影响的。在混响时间较长的几次测试中，成员一般都有些疲劳，可能会使清晰度百分数偏低一些。但是在混响为4.3秒上， W 和 S 为何比较高，我們还不能作出肯定的解释。

我們还会就每个发音人统计他每次发音由五个听众测出的平均清晰度，发现在同一情况下，三人的数据是差不多的。这说明三个发音人所受训练都已达到稳定而一致的程度。同时，还统计了每个测量条件下专业通话人员作为听众的6人次平均单字清晰度。有趣的是他们的数据，比15人次的数据几乎高一恒定值（约4%），见图4。这个恒定值使我们想到，对专业和非专业人员而言，听音受混响影响的程度（曲线陡度）、主观状态（疲劳程度）几乎是差不多的。二者的差异在于汉语拼音及通话试验的熟练程度。根据熟练人员本身的经验，在理想情况下， W 最大值可达98%。从图4将他们的曲线向短混响一边延长，似乎也可以得到这个结果。

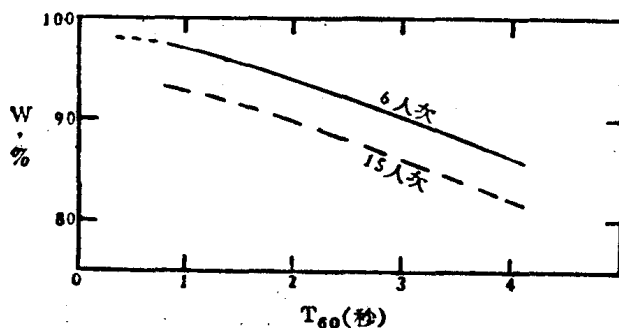


图4 专业通话人员作为听众测出的清晰度百分数与全部听众测得结果的差别

实线：专业通话人员6人次

虚线：全部听众，15人次

此次测量的某些结果可以支持和补充1956年的结果，但也有某些出入。这在很大程度上反映了清晰度与字表、测试人员和宣读方式有密切关系。这也就是清晰度测试方法（包

括字表) 必須规范化的理由。

三、与外語比較

1. 与 Knudsen 的英語音节清晰度作比較: Knudsen 以厅堂体积为参数, 用自然語音測了一系列英語音节清晰度随混响时间变化的曲线[5]。今选取其 $V=707$ 立方米的曲线, 与我們的 $V=1075$ 立方米、 $r=8.5$ 米 (房間中点) 曲线作比較 (图5), 立刻可以看出汉语清晰度比英語高得多 (若將我們的曲线校正为完全熟练人員的数据, 則其高更甚), 且下降趋势亦不如英語强烈。当然, Knudsen 測試的宣讀方式等等与我們有所不同, 但二种語音清晰度的差别如此大, 这决不能单纯地归之于这些原因, 而应该承认这两种語音本身有差别[2]。

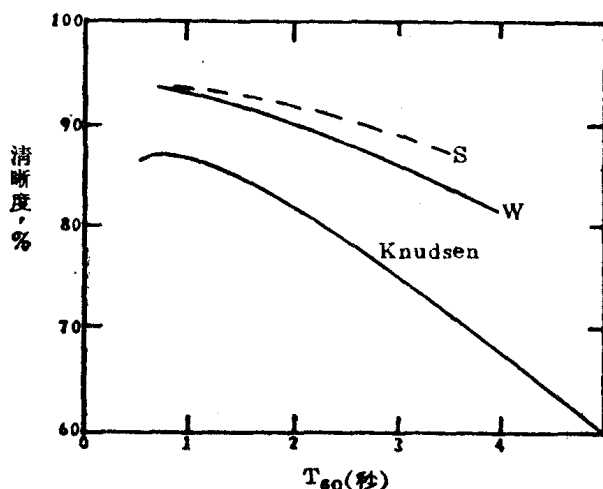


图5 汉语音节清晰度与 Knudsen 的英語音节清晰度的比較

汉语 $V=1075$ 立方米

英語 $V=707$ 立方米

自然語音, 房間中点

2. 与 Steinberg 的英語音节清晰度作比較: Steinberg 在一定的混响时间之下, 改变发音人与听音人的距离, 測量了英語音节清晰度随距离变化的規律[4]。結果是, 在很近的距离 (5 米以內) 上, 距离增加时, 清晰度就下降得很快。但是汉语在 16.5 米以內的下降还是十分轻微的。这也不难解释[2]。

四、关于 Е.Е. Голиков 提出的 $A=f(Q')$ 函数[6]

魏荣爵先生在 1957 年曾提出[2(b)], 在研究我国厅堂音质时, 借助于 Голиков 建立的 $A=f(Q')$ 函数和相应的曲线 (他是根据英語和俄語建立的) 来描述汉语清晰度未必恰当。我們就在此用汉语所得的数据来加以验证, 并就这个函数本身略作討論。

1. 汉语清晰度和 Q' 的关系: 根据客观条件 (体积 V 、距离 r 、混响时间 T_{60} 、接收点声级因子 K 、) 我們計算了 Q' 值, 將相应的单字和音节清晰度与 Q' 作曲线, 并且与