

同济大学研究生毕业论文

题目：飞机、道路噪声微机自控分析仪的研制

研究生姓名 卢建宇

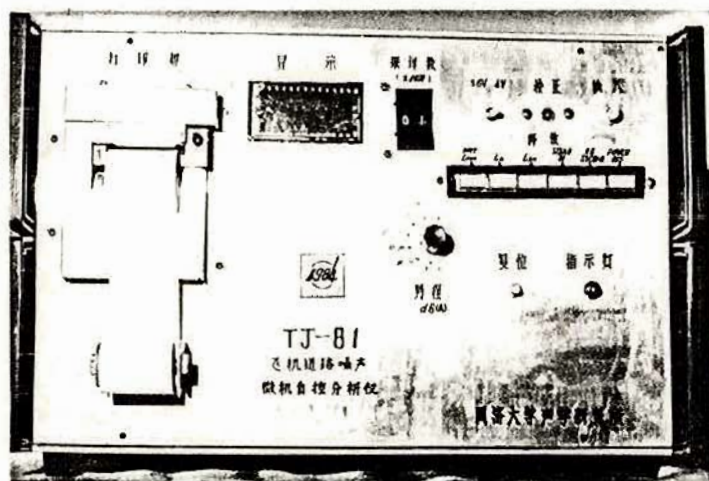
导师姓名 郑长聚

年 制 二 年 半

一九八四年七月一日

卢

飞机、道路噪声微机自控分析仪的研制



飞机、道路噪声 微机自控分析仪

卢建宇

一九八四.七.一.

THE DEVELOPMENT OF MICROCOMPUTER AUTOCONTROLLED ANALYZER
ON AIRCRAFT AND ROAD NOISE
(ABSTRACT)

An original acoustical measuring instrument ———
Microcomputer Autocontrolled Analyzer On Aircraft And Road
Noise is introduced in this paper. By using a microcomputer
as its intellectualized center, the instrument is mainly used
for measuring the aircraft noise.

This paper discusses the acoustical measuring circuits
which interface with the microcomputer and discusses the
mutual control problems of these circuits and the microcomputer.
Furthermore, the special software which is used in the single
board computer for acoustical measurements is discussed
emphatically. In the development of the software, the inter-
rupted timing controlled method and new datum processing
method are adopted, by using some procedures in the program,
the processing rate of the spectrum data is speeded up, hence,
a great deal of measured spectrum data can be processed by
the simple-structured single board computer. In order to
achieve the automatic measurements, the functions of auto-
judgement, auto-analysis, autocontrol and automatic datum
processing are added to the software. In order to widen the
application range of the instrument, besides strengthening
the power of processing aircraft noise data, the instrument
has been added many functions for noise criteria of steady
or nonsteady random noises, thus, the instrument can be used
to measure as many as thirteen major acoustical criteria.

Finally, the instrument has been used to analyze and
process the field recorded aircraft noise signals and road
traffic noise signals, and its results are compared with
those produced by manual calculating and imported Danish
instrument.

The Institute of Acoustics
Tong Ji University
July, 1984

飞机、道路噪声微机自控分析仪的研制

(内容提要)

本文研制了一种新颖的声学测量仪——飞机、道路噪声微机自控分析仪。它是一台以微处理机为智能化中心，主要用于测量飞机噪声的仪。

本文设计了该仪内部与微处理机相接口的声学测试电路，并解决这些电路与微处理机之间的相互控制的问题。此外，还着重地研究了能够用在单板计算机上进行声学测量的专用软件。在软件的研制中，使用了中断定时控制的方法和新的数据处理方法，并在程序上采取了一些措施，加快了频谱数据的处理速度，使利用结构简单的单板计算机就能进行大量的频谱数据的处理。为了实现自动测量，在软件中增加了自动判断、自动分析、自动控制和自动数据处理的内容。为了扩大仪的应用范围，除了增强仪对飞机噪声数据的处理能力外，还增加了许多对稳态和非稳态随机噪声评价量测量的功能，使仪能够测量的主要声学评价量达到 ± 3 。

最后，利用该仪对现场录音的飞机噪声仪号和道路交通噪声仪号进行分析处理，并将其结果分别与手工计算结果和丹麦进口仪号分析处理结果作了比较。

同济大学声学研究所

一九八四年七月

CONTENTS

一.	INTRODUCTION	1
二.	THE DEVELOPMENT OF THE INSTRUMENT	7
1.	The acoustical measuring functions of the instrument and the definitions of some acoustical criteria	7
2.	The specifications of the functions in front panel	12
3.	The general block diagram of the instrument	14
4.	The introductions of the electric circuits in the instrument	15
三.	SOFTWARE DEVELOPMENT	28
1.	The general block diagram of the program	28
2.	The introductions of the program designs	29
3.	Checking of the programs	36
四.	THE ANALYSES OF THE FIELD RECORDED SIGNALS AND THEIR RESULTS	44
1.	The aircraft flyover noise signal analyses	44
2.	The road traffic noise signal analyses	50
五.	GRATITUDE	52
六.	APPENDICES	53
	Appendix 1. Contours of perceived noisiness and table of coefficients m and L_0	53
	Appendix 2. An evaluation example of tone correction c and determination steps of the c	54
	Appendix 3. Frequency responses of Tape Recorder Type Nagra IV	58
七.	LITERATURES	60

目 录

一. 前言	1
二. 仪口的研制	7
1. 仪口的声学测试功能和一些声学评价量的定义 . . .	7
2. 仪口面板开关功能的说明	12
3. 仪口总框图	14
4. 仪口电路介绍	15
三. 软件开发	28
1. 程序总框图	28
2. 程序设计介绍	29
3. 程序的检验	36
四. 现场录音仪号的分析及其结果	44
1. 飞机飞越噪声仪号的分析	44
2. 道路交通噪声仪号的分析	50
五. 致谢	52
六. 附录	53
附录1. 等感觉吵闹度曲线和 m, L_0 系数表	53
附录2. 纯音修正量 C 值的确定步骤和一个具体示例 . .	54
附录3. Nagra IV 型录音机的频响	58
七. 参考文献	60

飞机、道路噪声微机自控分析仪的研制

一. 前言

六十年代以来,随着噪声污染日益严重,噪声问题得到世界各国越来越广泛的重视,噪声已成为国际公认的社会公害之一^[1]。对飞机和道路交通等噪声的主观和客观评价量的研究工作,国外很早就已开始进行^[2-7]并已有许多专著和论文。^[8-10]特别对飞机噪声的研究,发展更是迅速。在我国,环境噪声的研究和治理工作也已进行多年,但对飞机噪声的研究和治理工作几乎没有开展。然而近年来,随着我国现代化建设事业的进展,航空事业得到迅速发展,飞机噪声问题日趋严重,迫切地需要我们开展有关的研究和治理工作。要开展上述飞机噪声的研究和治理工作和更深入地开展道路交通等噪声的研究和治理工作,就要对噪声进行测量和对频谱数据进行处理。然而,这项工作的工作量十分浩大,以致有些工作用人工实际上很难开展。例如,用手工处理一架飞机飞越的噪声仪号,一个人至少要处理一天。因此,要解决上述问题就首先要解决能用于自动测量和数据处理的仪口设备的问题。目前国外用于声频范围的声学测量仪口以丹麦B&K公司的产品为代表,已经具有很强的声学测试和数据处理的能力,许多仪口都能与微处理机相连接。但国外能用于测量飞机噪声和数据处理的配套仪口设备的价格十分昂贵,这不能满足国内开展飞机噪声的研究和治理工作的需要。而国内在这方面的研究工作还很薄弱,利用微处理机组成飞机噪声测试系统的仪口设备的研制迄今还未见报导。因此,为了满足飞机

噪声测量的需要,减轻目前人工数据处理的工作量,提高测量精度和分析数据的可靠性,我们研制了一台以单板计算机为中心,主要用于测量飞机噪声的仪四。该仪四同时还是一台噪声级分析仪,包括了丹麦 B&K 4426 型噪声级分析仪的主要功能,还能直接获得噪声污染级 L_{np} 和交通噪声指数 TNI 。该仪四可以获得飞机噪声以及稳态和非稳态噪声的十三个主要声学评价量,在测量飞机噪声的功能上与国外较先进的丹麦 B&K 2131 数字频谱分析仪和所配用的一种美国微处理机 Tektronix 4051 组成的声学测试系统^[1] (以下简称为 B&K 2131+Tektronix 4051 声学测试系统)相比较,也有其突出的优点。

据了解, B&K 2131+Tektronix 4051 声学测试系统以及其它一些先进的声学测试系统用于与频谱分析有关的测量和数据处理时,^①操作比较麻烦,而且采用的是集中输入一定数量的频谱,然后再集中处理的方法,能存储和处理的频谱数量有限。对于这些系统,首先要将频谱分析仪与微处理机相连接,并装入高级语言的解释程序或编译程序(对于计算机内部固存有这些程序的除外),然后向计算机输入有关频谱输入和数据处理的程序,执行频谱输入程序,向计算机内存储器存入一定数量的频谱(视计算机内存储量大小而定),最后再执行数据处理程序得出所要的结果。这些系统一般只能存储少量的频谱,例如, B&K 2131+Tektronix 4051 声学测试系统在 Tektronix 4051 微处理机内存量为 32 K 时,最多仅能装入 100 个 1/3 倍频程的频谱^[1],因此它的所有数据处理仅限于对这 100 个频谱进行处理。如果要增加存入的频谱数量,要对

内存进行扩充,但毕竟有限度且不很方便。虽然^③这些系统都使用高级语言编程序,有编制程序简单和程序易于修改的优点,但它们都占用较多的计算机内存量且程序的执行时间较长。通常,高级语言的解释或编译程序本身就要占用许多计算机的内存量(一般BASIC解释程序要占用8K以上的内存量,编译程序往往要占用16K~32K的内存量),再加上由机口编译出的用户源程序的目标程序与有经验的程序员所编的汇编语言源程序^[12]相比,程序要长150%~300%,^[13]这样,占用的内存量就更大了。此外,使用高级语言的程序的执行速度也较慢。若使用BASIC语言,用户程序要由解释程序解释一句才能执行一句,^[14]使用其它高级语言,由于其编译后的用户程序的目标程序往往比较长,因此执行速度也较慢,执行时间大约增长50%~300%。^[13]由于这些系统^⑤对计算机的内存量和支持计算机的软件和硬件提出了较高的要求,因此一般它们价格昂贵,体积大、重量重,现场使用不很方便。

本仪口采用了新的数据处理方法,在软件开发和硬件设计上还做了许多工作,避免了上述国外声学测试系统的某些不足,实现了一些它们所没有的功能。

①测量飞机噪声的长期暴露声级——等效感觉噪声级 $L_{p\text{neg}}$ 时,往往要处理大量的频谱数据,而且要在每次采样的短暂时间间隔内及时地处理每次采样得到的频谱数据。本仪口采用边测量边处理的方法,即利用计算机内部可编程时钟的中断功能,在测量的同时,就进行频谱数据的处理,测量结束,结果即给出。用这种数据处理方法,只要占

用很少的计算机内存量，就可处理多达 65,000 个频谱的数据。此外，在程序设计中还改进了某些函数的求取方法，缩短了程序的执行时间，保证了每次采样获得的频谱数据都能得到及时的处理。国外 B&K 2131 + Tektronix 4051 声学测试系统的数据处理程序是用 BASIC 语言编写的，并且该系统采用软件延时定时^[16]和输入一定量频谱然后再处理的方法。由于它难以存储和处理大量的频谱，又不能在定时期间执行频谱输入以外的程序，因此，它不具有测试飞机噪声长期暴露评价量——等效感觉噪声级 L_{PNeg} 的功能，并且不能在现场测量的任意时刻根据需要显示感觉噪声级 L_{PN} 或纯音修正感觉噪声级 L_{TPN} 。然而，本仪却具有这些功能。本仪选择单板计算机进行整机测量控制和数据处理。虽然单板计算机使用机内语言（本仪内编程序使用汇编语言^[12]，然后再经过人工翻译成十进制表示的机内语言），而用机内语言编程序比用高级语言难得多^[13, 14]，但机内语言执行速度快，而且单板计算机本身具有造价低、体积小和控制方便等优点，把它作为仪内设备的专用控制和数据处理中心特别合适。^[15]

在现场测量飞机飞越噪声时，可能会受到一些持续时间短促，但其声级比本底噪声高很多足以使仪内自动判断发生错误的偶发声的干扰（例如偶然出现的汽车喇叭声等），使单个事件的起点难以正确决定。由于在计算机软件上做了一些工作，在本仪内判断单个事件开始之前，本仪能够自动排除持续时间小于 2 秒的偶发声或持续时间小于 2 秒但具有一定的时间间隔的偶发声序列的干扰。在单个事件结束

时, 仪四也能进行自动判断, 并由打印机输出所要的计标结果。^{此外}如果本次飞机飞越噪声的最高声级不超过本底噪声 20 dB, 仪四将自动给出数据无效的仪息。若仪四判断单个事件已经开始, 这时又出现飞机在测点上空盘旋或地面飞机发动机试车等不属于飞机飞越噪声的情况, 如果持续时间足够长, 仪四将会打印出请求“再来一次”的仪息并自行停机。

4) 在软件的有机组织管理和控制下, 仪四能同时得到被测噪声的多个参数。虽然感觉噪声级 L_{pN} , 纯音修正感觉噪声级 L_{TPN} 和等效感觉噪声级 $L_{pN_{eq}}$ 等评价量主要用于飞机噪声的评价, 但在其它稳态或非稳态随机噪声的测量中, 这些量也能同时给出。因此, 该仪四还为进一步研究这些评价量与飞机噪声以外的其它噪声评价量之间的关系以及它们的适用范围创造了条件。

5) 本仪四使用的对数放大器, 参考了已通过鉴定的现有仪四^[17]中所使用的对数放大器, 并对其进行了改进, 减少了具有相互影响的调节电位器的数目, 增加了温度补偿电路和负电压输出保护电路。考虑到电子开关快速转换的特性, 对整个对数放大器的动态特性进行了测试和调整。此外, 还对电路元件数值重新进行计标。使得对数放大器调试简单, 温度稳定性大大提高, 满足了本仪四的要求。

6) 为了将频谱输入计标机, 本仪四采用软、硬件结合的办法, 设计了由计标机控制且与模数转换电路协调一致的电子开关电路。由于在数字显示期间要进行复杂的数据处理和整机控制工作, 为此还设计了

一套相应的数字显示电路。为了使仪四便于操作,还设计了一套面板控制电路。在整个仪四系统结构的考虑上,充分发挥了单板计算机上可编程接口的特点,将电子开关、模/数转换器、数字显示器和面板操作控制开关等都作为计算机的外部设备,采用软、硬件相结合的办法进行输入/输出数据交换和控制,并尽可能地利用软件代替硬件,使外部设备的接口电路大大简化,因而仪四费用下降,可靠性增加。

最后,用本仪四对现场录音的飞机噪声信号和道路交通噪声信号进行了分析和处理,并将其结果分别与手工计标结果和丹麦进口仪四测试分析结果作了比较,由此得出了大量的数据和图表。由这些分析资料表明,仪四达到了设计要求,实现了预定的全部功能。

二. 仪 田 的 研 制

1. 仪 田 的 声 学 测 试 功 能 和 一 些 声 学 评 价 量 的 定 义

(1) 在测量飞机噪声时, 本仪田能测量以下几个主要的声学评价量:

L_{PN} 、 L_{TPN} 、 L_{EPN} 、 L_{TPNmax} 、 $L_{TPN(B)}$ 和 L_{PNeq} .

(i) 感觉噪声级 L_{PN}

L_{PN} 由测量得到的噪声频谱通过等感觉吵闹度曲线 (见附录 1) 查出各个 1/3 倍频带噪声声压级 (由 1/3 倍频程滤波器得到^[19]) 所具有的闹度 n_j ($j=1, 2, 3, \dots, 24$), 然后通过公式 $N = 0.85 n_{max} + 0.15 \sum_{j=1}^{24} n_j$ 求出整个频谱所具有的闹度 N 。其中 n_{max} 是 n_j 中的最大者, $j=1$ 表示中心频率^[20] 为 50 Hz 的 1/3 倍频带; $j=24$ 表示中心频率为 10,000 Hz 的 1/3 倍频带。最后 L_{PN} 由下式计标:

$$L_{PN} = 10 \log_2 N + 40$$

为了便于计算机计标, 国际标准化组织给出了 n_j 的计标公式:^[21]

$$n_j = 10^{m_j (L_j - L_{0j})}$$

其中 m_j 和 L_{0j} 在各个 1/3 倍频带中的取值, 以及它们随 L_j 取值范围而变化的情况见附录 1。

(ii) 纯音修正感觉噪声级 L_{TPN}

$$L_{TPN} = L_{PN} + C$$

其中 C 为纯音修正量, 它要经过 10 个步骤才能求出, 相当麻烦。但它的基本思想是对所测得的频谱 (反频谱) L_i ($i=1, 2, \dots, 24$) 经过两次顺滑后得到 C 值。第一次顺滑后得到的频谱为 L'_i ($i=1, 2, \dots, 24$),

然后再在 L_i ($i=1, 2, \dots, 24$) 的基础上进行第二次平滑得到频谱 $\bar{L}_i$ ($i=1, 2, \dots, 24$)，再将反频谱 L_i ($i=1, 2, \dots, 24$) 与平滑后的频谱 $\bar{L}_i$ ($i=1, 2, \dots, 24$) 进行比较，其差别通过一定的方式进行计标，最后求出各 $1/3$ 倍频带修正量中的最大值作为纯音修正量 C 。附录 2 给出了求纯音修正量 C 的具体步骤并给出了一个求纯音修正量 C 的具体例子，以及它的反始频谱平滑过程的示意图。

(iii) 有效感觉噪声级 $LEPN$

$LEPN$ 用于评价飞机飞越噪声，它的定义是：

$$LEPN = 10 \lg \left(\frac{1}{T_0} \int_{-\infty}^{+\infty} 10^{L_{TPN}/10} dt \right)$$

为了便于实际处理，它又定义为：

$$LEPN = 10 \lg \left(\frac{1}{T_0} \int_{t_1}^{t_2} 10^{L_{TPN}/10} dt \right)$$

其中 T_0 为参考持续时间，按国际标准^[21]它取为 10 秒，而 $t_2 - t_1$ 表示 L_{TPN} 在 L_{TPNmax} (飞机飞越过程中的最大纯音修正感觉噪声级) 的 -10dB 范围内持续的时间。为了便于计算机计标，如果取采样周期为 0.5 秒， T_0 仍为 10 秒，则 $LEPN$ 可以改写为：

$$LEPN = 10 \lg \left(\sum_{i=K}^M 10^{L_{TPNi}/10} \right) - 10 \lg 20$$

其中 L_{TPNi} 是由第 i 个采样得到的频谱计标出的纯音修正感觉噪声级； M 和 K 是这样确定的，以使 $K \leq i \leq M$ 时的 $L_{TPNi} \geq L_{TPNmax} - 10\text{dB}$ 。

图 2-1 是飞机飞越过程和有效感觉噪声级 $LEPN$ 计标过程的示意图。

为了能用仪回自动判断飞机飞越过程的开始，本仪回取仪回开始工作而飞机飞越过程还未开始时由 16 个频谱计标出的 16 个 L_{TPN} 的标本

平均值作为本底噪声 $L_{TPN}(B)$ 。飞机飞越噪声增大到超过 $L_{TPN}(B) + 10\text{dB}$ 时, 仪四将把 L_{TPN} 值依次存入计算机, 直到飞机飞越噪声小于 $L_{TPN}(B) + 10\text{dB}$ 为止。然后仪四自动找到 K 和 M , 求出 L_{EPN} 值, 并将 L_{EPN} 、 $L_{TPN_{max}}$ 和 $L_{TPN}(B)$ 打印输出和自行停机。在整个飞机飞越过程中, 测量者可以观察 L_{PN} 或 L_{TPN} 随时间的变化关系。如果 $L_{TPN_{max}} < L_{TPN}(B) + 20\text{dB}$, 仪四将打印出数据无效的讯息。如果在飞机飞越过程还未开始时, 出现持续时间短暂的高声级, 使 $L_{TPN} > L_{TPN}(B) + 10\text{dB}$, 只要 $L_{TPN} > L_{TPN}(B) + 10\text{dB}$ 的持续时间不大于 2 秒钟, 存入计算机内的干扰信号的 L_{TPN_i} 值可被自动抹去, 不会将干扰信号误认为是飞机飞越噪声的开始。见图 2-2。

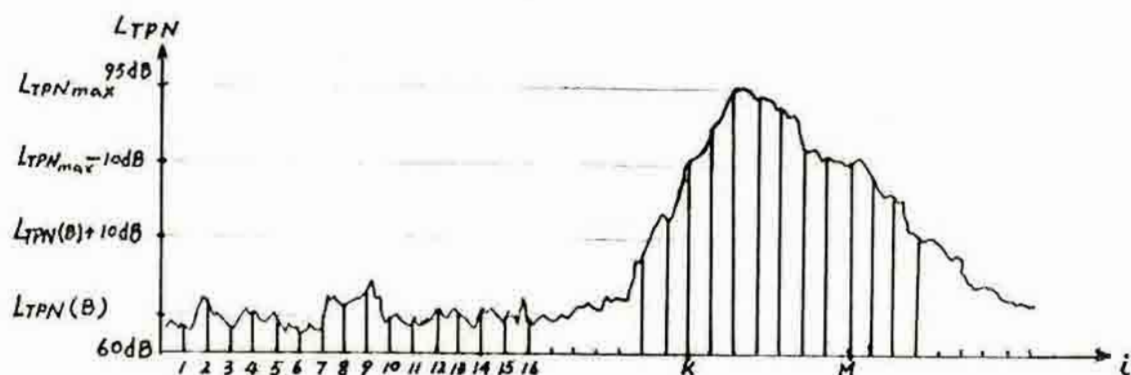


图 2-1 飞机飞越过程和求 L_{EPN} 的示意图

由于飞机飞越噪声评价量有效感觉噪声级 L_{EPN} 数据有效时, 其飞越过程中 $L_{TPN_i} > L_{TPN}(B) + 10\text{dB}$ 的持续时间一般总是大于 2 秒, 而许多偶发声持续时间又小于 2 秒, 因此, 选定 2 秒作为判别干扰信号的依据比较合理。

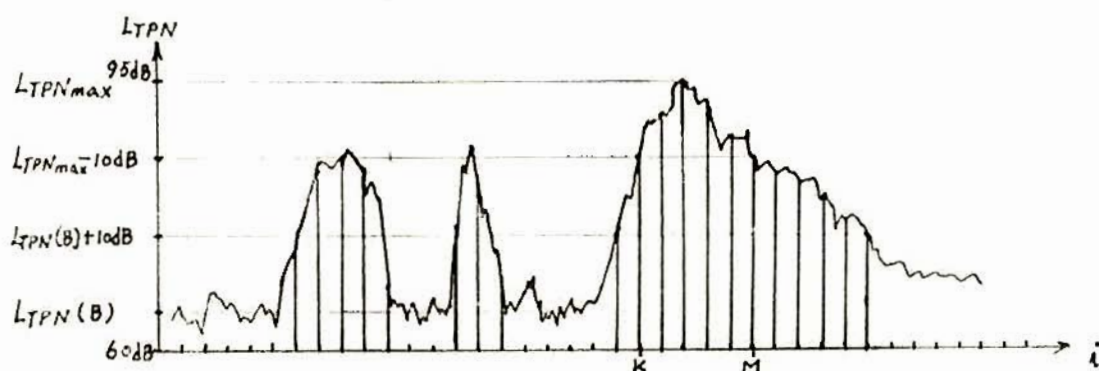


图 2-2 . 存在干扰时的飞机飞越过程示意图

(iv) 等效感觉噪声级 L_{PNeq}

L_{PNeq} 主要用于对飞机噪声长期暴露的评价,^[10,21] 它的表达式为:

$$L_{PNeq} = 10 \lg \left(\frac{1}{T} \int_0^T 10^{L_{PN}/10} dt \right)$$

其中 L_{PN} 是 t 时刻的感觉噪声级, T 是测量持续的时间。为了利用计算机进行计标, 将上式改写成:

$$L_{PNeq} = 10 \lg \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{L_{PNi}/10} \right)$$

式中 N 为 T 时间内的总采样数, L_{PNi} 为第 i 次采样计标出的 L_{PN} 值。从上述 L_{PNeq} 的表达式可以看出, 要少占内存量, 必须采用边测量边处理的方法, 将每次采样得到的频谱数据在下次采样到来之前处理完毕, 得出 L_{PNi} , 然后进行一次“能量”累加, 等待处理下一个频谱的数据。这样, 下一个频谱的所有数据就可利用上次采样时存储频谱数据的存储单元进行存储, 从而解决了计算机内存量不足困难。

(2) 除了飞机噪声外, 本仪器还能测出非稳态噪声 (例如道路交通噪声) 和稳态噪声 (例如风机噪声) 的以下几个常用的评价量: L_A 、

L_{10} 、 L_{50} 、 L_{90} 、 L_{eq} 、 L_{NP} 和 TNI 。

(i) A 声级 (A 计权声级) L_A

A 声级由线性声压级经过与人耳听觉特性有关的电网络计权得到^[18]，它的定义为：

$$L_A = 20 \lg \frac{P}{P_0}$$

其中 P 为 A 计权声压， P_0 为参考声压，其值为 2×10^{-5} 帕。A 声级的应用范围极广，大量的测量表明它与主观反映的一致性符合得很好，它既适用于非稳态噪声，也适用于稳态噪声。

(ii) 累积分布声级 L_N

L_N 表示在某段测量时间内，有 $N\%$ 的声级超过 L_N 值。当 N 分别取 10、50 和 90 时，就得到 L_{10} 、 L_{50} 和 L_{90} ，这三个累积分布声级在非稳态噪声测量中最常用。

(iii) 等能量声级 L_{eq}

L_{eq} 定义为：

$$L_{eq} = 10 \lg \left(\frac{1}{T} \int_0^T 10^{L_A/10} dt \right)$$

其中 L_A 表示 t 时刻测到的 A 声级值， T 表示测量经历了一段时间 T 。为了便于计算机计标，将上式改写为：

$$L_{eq} = 10 \lg \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{L_{Ai}/10} \right)$$

式中 L_{Ai} 表示第 i 次采样得到的 A 声级， N 表示 T 时间内的总采样次数。

(iv) 噪声污染级 L_{NP}

L_{NP} 定义为:

$$L_{NP} = L_{eq} + K\sigma$$

其中 K 是常数因子, 经调研结果, 取值 2.56。 σ 是标准偏差, 定义为:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (L_{Ai} - \bar{L}_A)^2}$$

式中 N 表示在时间 T 内的总采样数, $\bar{L}_A$ 为在 T 时间内 A 声级的算术平均值, $\bar{L}_A = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N L_{Ai}$ 。在本仪中, 为了计标方便, 将 σ 表达式改写成:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \left[\sum_{i=1}^N L_{Ai}^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N L_{Ai} \right)^2 \right]}$$

有资料^[1]表明, L_{NP} 既适用于评价道路交通噪声, 也适用于评价航空噪声。

(v) 交通噪声指数 TNI

TNI 的定义如下:

$$TNI = 4(L_{10} - L_{90}) + L_{90} - 30$$

$4(L_{10} - L_{90})$ 反映了噪声的起伏程度, L_{90} 相当于本底噪声。数值 30 是为了使 TNI 数值落在某个方便的范围而加的。

2. 仪四面板开关功能的说明

图 2-3 是飞机、道路噪声微机自控分析仪 (以下简称噪声微机分析仪) 的正视图, 其中面板各操作开关和面板输出设备的功能将按照图中所示的标号顺序加以说明。图 2-4 是噪声微机分析仪与国产 ND2 精密声级计连接使用的照片。

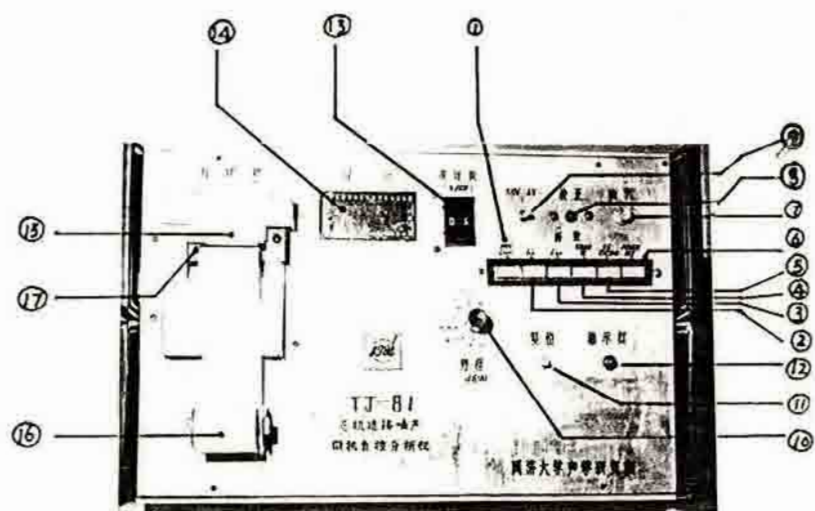


图 2-3. 飞机、道路噪声微机自控分析仪面板

① 按下: 测量 $LEPN$; 释放测其它量。② 和 ③ 有三种不同的组合: 全部释放显示 A 声级; 左边按下右边释放显示 LPN ; 左右两边都按下显示 $LTPN$ 。④ 按下表示测量开始进行; 释放表示暂停, 所有测量数据都保存在计算机存储器内, 必要时还可以继续进行测量。⑤ 按下表示采样周期为 2 秒; 释放表示采样周期为 0.5 秒。⑥ 按下电源接通; 释放电源关断。⑦ 仪号输入端。⑧ 仪号校正微调。⑨ 选择输入仪号的大小。⑩ 仪号量程选择。⑪ 手动复位按钮, 一般电源接通时应立即按下该按钮, 防止电源开关接触不良时损坏仪号。⑫ 指示灯。⑬ 采样数预置开关。⑭ 数字显示。⑮ 点阵式打印机头。⑯ 打印机送纸盘。必须使用宽 $44.5 \pm 0.5 \text{ mm}$, 厚 0.07 mm 的普通白纸, 且纸圈外径不大于 50 mm 。⑰ 可拆卸式色带盒, 寿命约 1×10^4 行。拆卸时左手按住色带盒的左边, 右手即可将色带盒轻轻提起。打印纸必须在色带盒提起后装入, 必须转动橡皮滚筒, 将纸带卷入, 如图 2-3 所示。



图 2-4. 飞机、道路噪声微机自控分析仪
与国产 ND2 精密声级计连接使用的照片

3. 仪口总框图

仪口总框图和它的外形照片分别见图 2-5 和图 2-6.

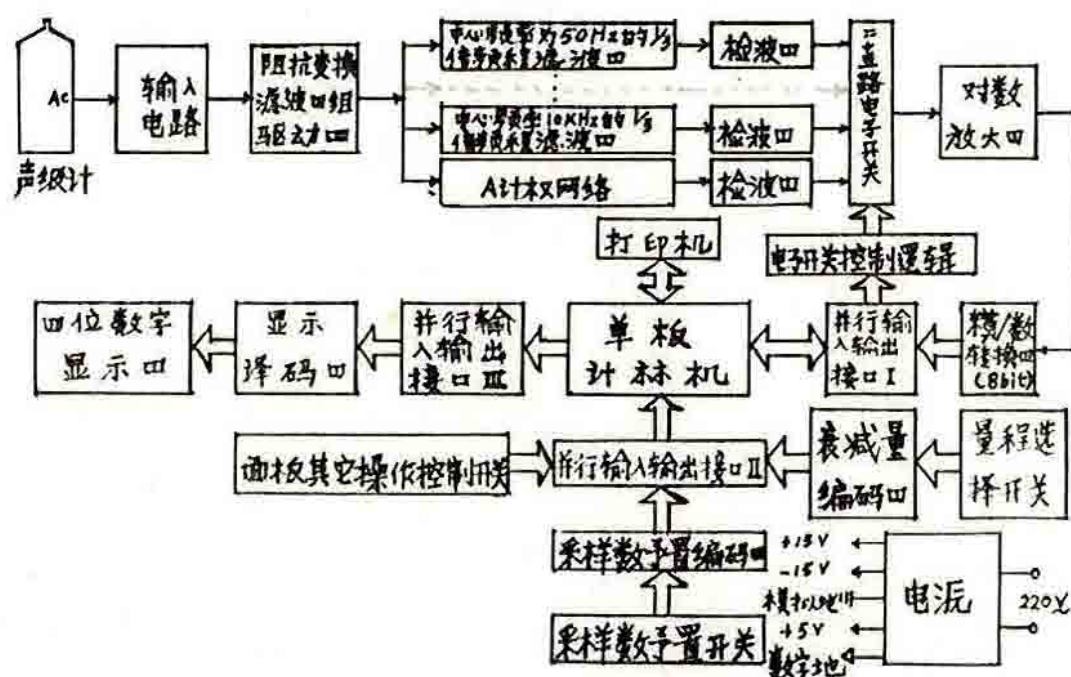


图 2-5. 飞机、道路噪声微机自控分析仪总框图

图 2-5 中的细线条表示单路仪号, 粗线条表示一组数据仪号、地址仪号或控制仪号。箭头方向表示仪息流动的方向。

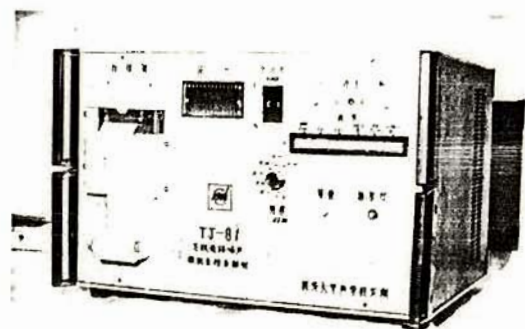


图 2-6. 飞机、道路噪声微机自控分析仪

4. 仪电电路介绍

(1) A 计权网络

本仪电使用了利用场效应晶体管作隔离的调节方便的 A 计权电路^[22], 并选用了稳定性较高的电阻电和电容电作为电路元件。对 A 计权网络单独进行测试的原理图见图 2-7, 测量结果与标准 A 计权网络曲线的比较见图 2-8。其误差见表 2-1。

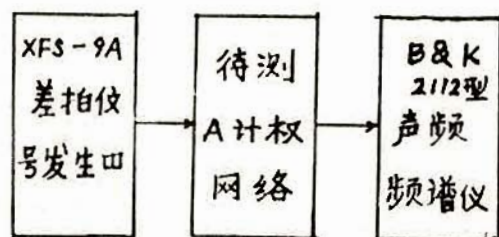


图 2-7. A 计权网络测试原理图

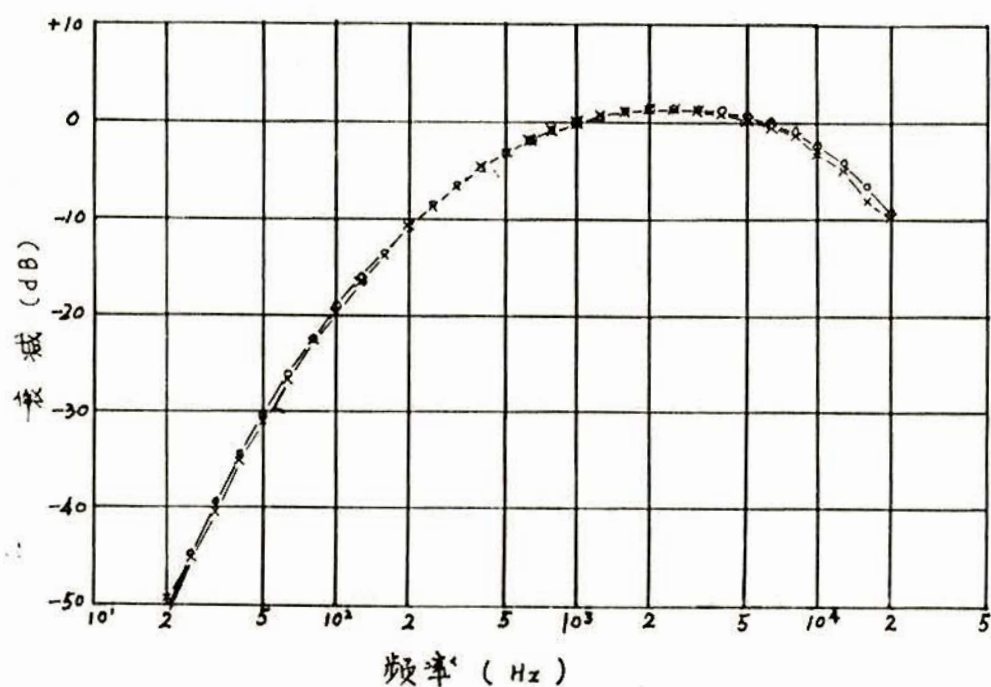


图 2-8. A 计权网络的频率特性

x —— 实际测量值

o —— 标准值

1/3倍频程中心频率(Hz)	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630
误差 (dB)	+1.38	-0.49	-1.28	-0.54	-0.86	-0.74	-0.29	-0.77	-0.67	-0.36	-0.47	-0.32	-0.18	-0.08	-0.15	-0.04
1/3倍频程中心频率(Hz)	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000	12500	16000	20000	
误差 (dB)	+0.03	0.00	-0.01	0.00	0.00	-0.09	-0.10	-0.19	-0.24	-0.39	-0.78	-0.91	-0.89	-1.41	-0.53	

表 2-1. 实际 A 计权网络与标准 A 计权网络的偏差

(2) 平均值检波电路

本仪器使用了 π 型平均值检波电路, 其电路原理图见图 2-9。

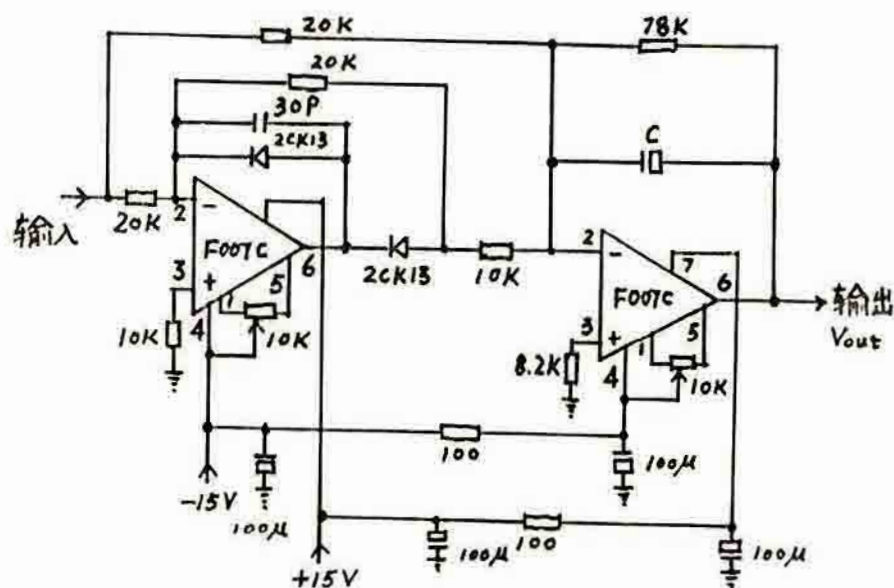
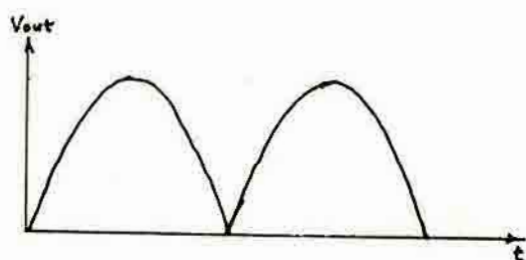


图 2-9. 平均值检波电路

如果不加电容 C , 上面的电路实际上是绝对值电路, 输入端加上正弦电压时, 它的输出波形见图 2-10。有关绝对值电路的原理, 很多资料上都有介绍。^[23, 24, 25]

图 2-10. 不加电容 C 时输出波形

按图 2-9 电路, 其输出电压峰值可达 $12V$ 以上。精心调节两个有相互影响的电位器, 可以使输入电压为 0 时, 输出电压 $< 0.8mV$, 改善小信号输入时电路的线性。

加上电容 C 后, 第 5 运放可以等效成如下的电路, 见图 2-11。
可以证明它确是一个平均值电路。

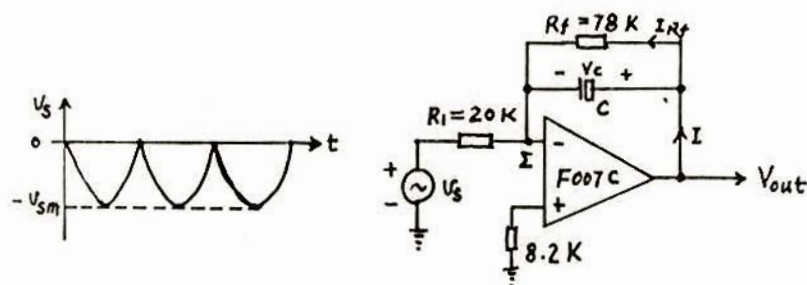


图 2-11. 平均值电路的原理图

设电容 C 值足够大, 电路经过若干周期后处于稳态, 电容 C 两端电压值为 V_c 。由于 Σ 为虚地, 所以 $\bar{V}_c = V_{out}$ 。输入信号 $V_s = -V_{sm}|\sin \omega t|$, $I_{max} = V_{sm}/R_1$, $I_{Rf} = \bar{V}_c/R_f$, $I = |V_s|/R_1$ 。根据电荷守恒原理, 一个周期内电容充电量 Q_1 应与一个周期内电容放电量 Q_2 相等, 则有:

$$Q_1 = 2 \int_{\frac{1}{\omega} \sin^{-1} \frac{I_{Rf} R_1}{V_{sm}}}^{\frac{\pi}{2\omega}} (I - I_{Rf}) dt = \frac{2V_{sm}}{\omega R_1} \cos(\sin^{-1} \frac{I_{Rf} R_1}{V_{sm}}) + \frac{2I_{Rf}}{\omega} \sin^{-1} \frac{I_{Rf} R_1}{V_{sm}} - \frac{2I_{Rf} \pi}{2\omega}$$

$$Q_2 = 2 \int_0^{\frac{1}{\omega} \sin^{-1} \frac{I_{Rf} R_1}{V_{sm}}} (I_{Rf} - I) dt = \frac{2V_{sm}}{\omega R_1} \cos(\sin^{-1} \frac{I_{Rf} R_1}{V_{sm}}) + \frac{2I_{Rf}}{\omega} \sin^{-1} \frac{I_{Rf} R_1}{V_{sm}} - \frac{2V_{sm}}{\omega R_1}$$

由 $Q_1 = Q_2$, 得:

$$\bar{V}_c = K_f \cdot \frac{2V_{sm}}{\pi}$$

其中 K_f 是电路的闭环放大系数, $K_f = R_f/R_1$ 。

若直接求 V_s 的平均值得到:

$$\bar{V}_s = \frac{\omega}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{\omega}} V_{sm} |\sin \omega t| dt = \frac{2}{\pi} V_{sm}$$

从而, 证明了它是一个平均值电路。

(3) 对数放大器

对数放大器的基本原理可由图 2-12 说明。^[23,24]

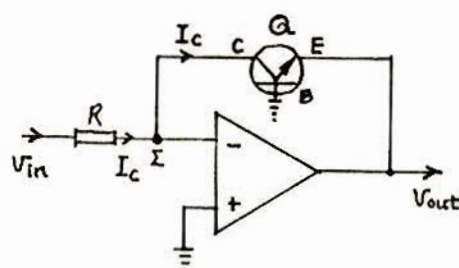


图 2-12. 对数放大器原理图

根据半导体物理和晶体管模型^[26]，见图 2-13，可以得到埃伯斯——摩尔方程（Ebers — Moll Equations）。

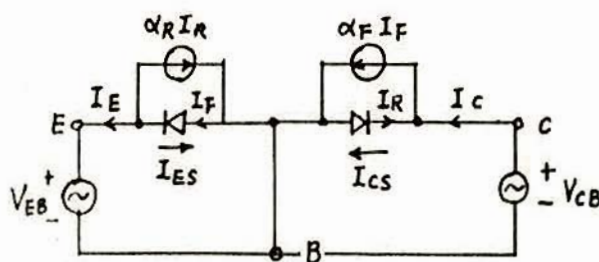


图 2-13. 晶体管模型

$$\begin{cases} I_E = I_{ES} (e^{-qV_{EB}/KT} - 1) - \alpha_R I_{CS} (e^{-qV_{CB}/KT} - 1) \\ I_C = \alpha_F I_{ES} (e^{-qV_{EB}/KT} - 1) - I_{CS} (e^{-qV_{CB}/KT} - 1) \end{cases}$$

该方程就是著名的埃伯斯——摩尔方程。其中 α_F 为晶体管正向电流放大系数，它实际上就是晶体管电流放大系数 α ， $\alpha = \Delta I_C / \Delta I_E = \beta / (1 + \beta)$ 。 β 是晶体管共发射极连接时的电流放大系数。由于 β 值通常很大，所

以 $\alpha \approx 1$ 。 α_R 为反向电流放大系数。 I_{ES} 为集电结短路时发射结反向饱和电流，而 I_{CS} 为发射结短路时集电结反向饱和电流。 q 为电子的电量，其值为 1.6×10^{-19} 库仑， K 为玻尔兹曼恒量，其值为 1.38×10^{-23} 焦耳 / $^{\circ}K$ 。 T 为绝对温度， $T = 273 + t$ ， t 为摄氏温度。

在对数放大器中，由于 I 是虚地点，因而 $V_{CB} = 0$ 。在常温下通常 $-qV_{EB}/KT \gg 1$ ，从而埃伯斯—摩尔方程简化为：

$$\begin{cases} I_E \approx I_{ES} e^{-qV_{EB}/KT} \\ I_C \approx \alpha_F I_{ES} e^{-qV_{EB}/KT} \end{cases}$$

由于 $\alpha_F \approx 1$ ，所以 $I_C \approx I_E = I_{ES} e^{-qV_{EB}/KT}$ 。从而有：

$$V_{out} = V_{EB} = M \lg I_C - M \lg I_{ES}$$

其中 $I_C = V_{in}/R$ ， $M = -\frac{1}{\lg e} \cdot \frac{KT}{q}$ ； I_{ES} 是温度的敏感函数。可见 V_{out} 与 V_{in} 在一定条件下成对数关系。

本仪器使用的对数放大器是在本所已研制的《城市交通噪声大屏幕数字显示自动监测仪》^[17]中所使用的对数放大器的基础上改进而成的。图 2-14 是经过改进后的对数放大器线路图。

图中 W_1 是晶体管 Q_1 基区体电阻 r_b 补偿调节电位器， W_2 是 $FOO7C I$ 运放放大器失调补偿电位器， W_3 是恒流源电流大小的调节电位器， W_4 是整级对数放大器增益调节电位器。在文献 [17] 的对数放大器基础上，减少了三个调节电位器，增加了一个恒流源电流调节电位器，从而简化了对数放大器的调整步骤。场效应管 J 的作用是增加运放放大器的输入阻抗，使流过 R_5 的电流全部流过 Q_1 。

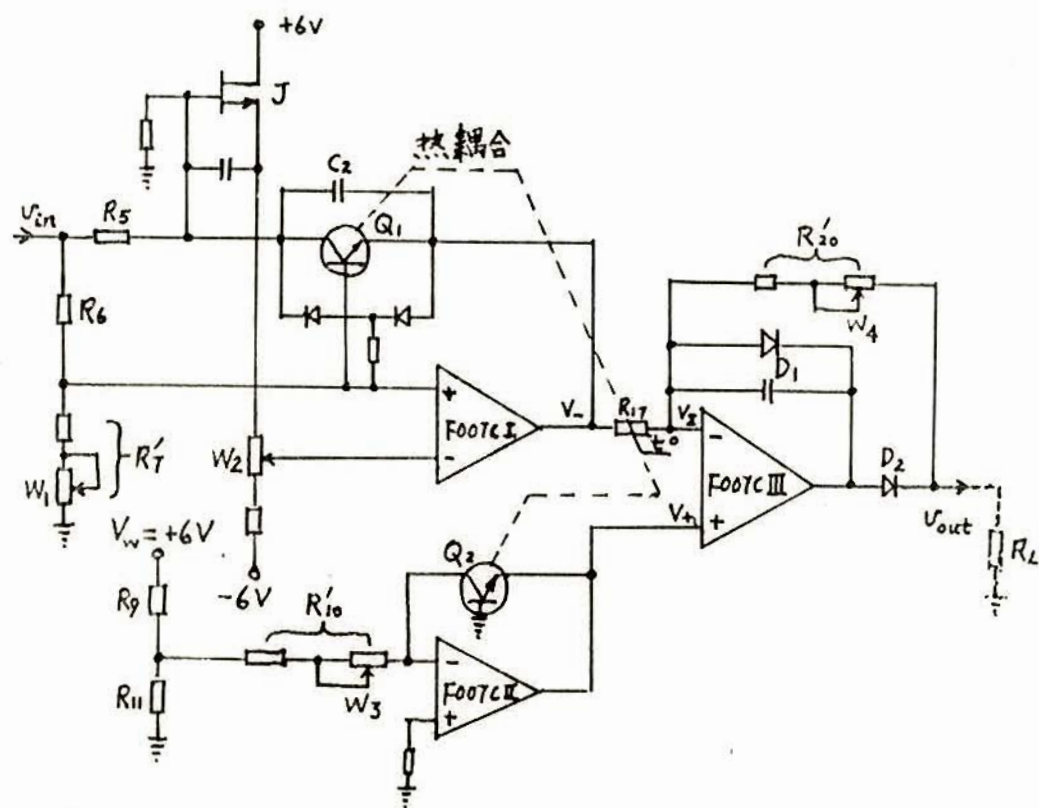


图 2-14. 改进后的对数放大器线路

电路的温度补偿作用可以从图 2-14 看出：

$$\begin{cases} V_- \approx M \lg V_{in} / R_5 - M \lg I_{ES1} + \left(\frac{R_7'}{R_6 + R_7'} - \frac{Y_b}{R_5} \right) \cdot V_{in} \\ V_+ = M \lg \frac{R_{11}}{R_9 + R_{11}} \cdot \frac{V_w}{R_{10}} - M \lg I_{ES2} \end{cases}$$

其中 I_{ES1} 和 I_{ES2} 分别是晶体管 Q_1 和 Q_2 的集电结短路时发射结反向饱和电流。由于 Q_1 和 Q_2 是做在同一基片上的对管，因此 I_{ES1} 和 I_{ES2} 具有相同的数值和相同的温度系数，即 $I_{ES1} = I_{ES2} = I_{ES}$ 。调节 R_7' ，使 $\frac{R_7'}{R_6 + R_7'} - \frac{Y_b}{R_5} = 0$ ，则得到补偿。上述对数放大器的输出电压为：

$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_{20}'}{R_{17}} \right) V_+ - \frac{R_{20}'}{R_{17}} V_-$$

由于 $R_{20}'/R_{17} \gg 1$, 所以:

$$V_{out} \doteq \frac{1}{\lg e} \cdot \frac{KT}{q} \cdot \frac{R_{20}'}{R_{17}} \cdot \lg [V_{in} / (\frac{R_5 \cdot R_{11}}{R_9 + R_{11}} \cdot \frac{V_w}{R_{10}'})]$$

从上式可以看出, 由于 R_{20}' 选用温度系数与 T 的变化规律基本一致的热敏电阻, 并将它与对管 Q_1 和 Q_2 进行热耦合, 因此输出电压 V_{out} 受温度的影响大为减小。

对图 2-14 电路中元件数值进行计算后, 得到本仪中使用的对数放大器的数学表达式:

$$V_{out} = 1.572 \lg V_{in} / 0.03162 \text{ (V)} \dots\dots\dots (1)$$

当输入电压 $V_{in} = 10.00 \text{ V}$ 时, 取输出电压 V_{out} 值为 50 dB , 相当于输出 3.930 V 的电压, 即 78.6 mV/dB 。

为了使对数放大器不输出低内阻的负电压, 损坏模/数转换器件, 本仪中设计了如图 2-14 所示的负电压防护电路。其工作原理为: 当电子开关还未接通时, $V_{in} < 0.03162 \text{ V}$, 按照公式(1), 这时 F007C III 运放放大器输出一个负电压, 该负电压被 D_1 箝在 -0.7 V 左右, 以免电路进入深度饱和影响电路的动态特性。这时 D_2 反偏, 相当于开路, $V_{out} = \frac{R_L}{R_{20}' + R_L} V_E$, 其负内阻 R_{20}' 阻值很大起限流作用, 其中 R_L 是模/数转换器的输入电阻。当输出正电压时, D_1 相当于开路, D_2 相当于短路。

为了使对数放大器能适应电子开关快速转换的要求, 对电路中电容 C_2 作了调整, 使电路在 50 dB 的动态范围内既不产生自激振荡, 又能跟得上输入电压跳跃式的变化。

对图 2-14 所示的对数放大器单独进行测试的原理见图 2-15, 测得

的数据与由公式(1)计称的结果的比较如图 2-16 所示。

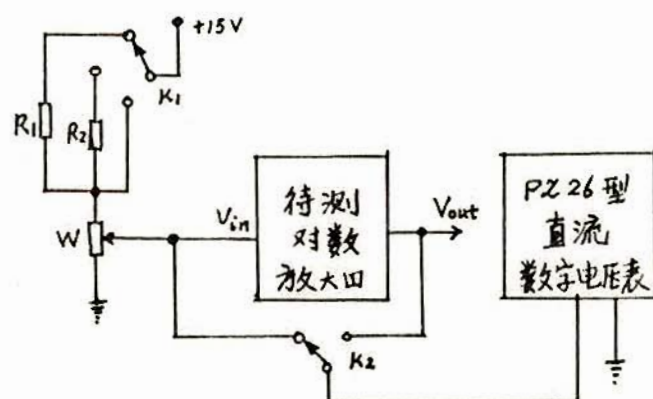


图 2-15. 对数放大器测试原理

图中 R_1 、 R_2 、 W 以调试方便为原则加以选择，输入电压较小时与 W 串联的电阻宜取得大一些。由于计称值与实测值差别极微，因此再由表格 2-2 给出数值结果。

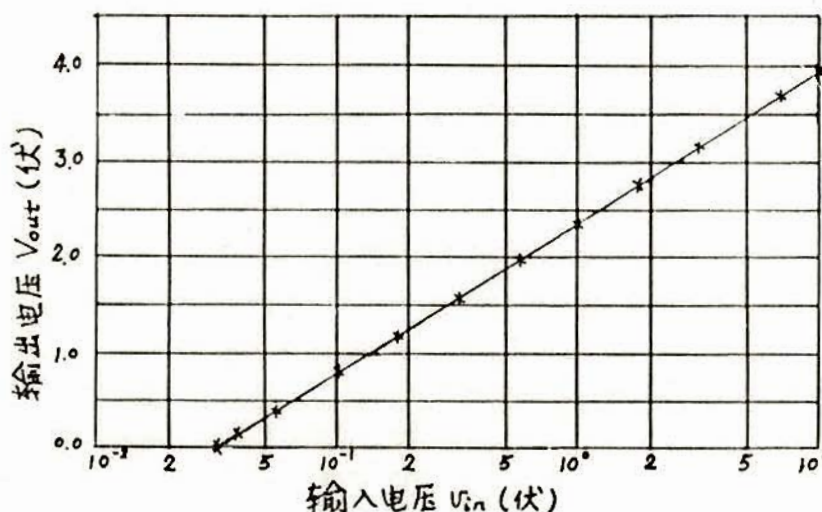


图 2-16. 对数放大器实测值与计称值的比较

图 2-16 中的直线表示由公式(1)计标的结果, "x" 表示实测值。

对数放大器输出电压 (dB)	0.00	2.00	5.00	10.00	15.00	20.00	25.00	30.00	35.00	40.00	47.00	50.00
对数放大器输入电压 (dB)	-0.03	1.93	4.99	10.02	15.00	19.97	24.93	29.99	34.93	39.99	46.88	50.00
差值 (dB)	0.03	0.07	0.01	-0.02	0.00	0.03	0.07	0.01	0.07	0.01	0.12	0.00

表 2-2. 对数放大器实测值与计标值的偏差

表 2-2 中输出电压的分贝值是按 78.6 mV/dB 计标的, 输入电压分贝值是以 0.03162 V 为参考电压计标的。从该表中还可以看出, 对数放大器在 50 dB 的动态范围内最大误差不超过 $+0.12 \text{ dB}$, 由于后面紧接的是 8 位模/数转换器, 仅量化误差就达 $0.25 \text{ dB}^{[25]}$ (模/数转换器的动态范围为 63.75 dB 时), 因此上述对数放大器的误差不大。

(4) 电子开关电路的设计

电子开关原理见图 2-17。

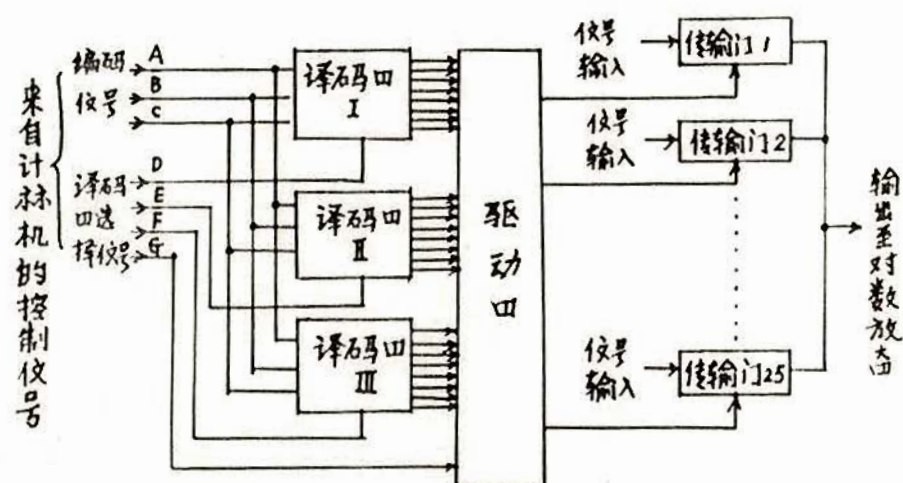


图 2-17. 电子开关原理

计算机控制仪号线中的 A、B、C 从 000 ~ 111 共有 8 种状态，经过译码后有八种不同的输出方式。控制仪号线中 D、E、F、G 依次由计算机编码成四种状态 1000, 0100, 0010, 0001；这四种状态中的前三种分别对译码器 I、II、III 进行选通，只有被选通的译码器才能对 A、B、C 仪号译码。第四种状态直接经过驱动器去控制第二 + 五路电子开关。

电子开关的基本原理虽然有人讨论过^[27]，但这里着重讨论的是怎样利用微处理机对电子开关加以控制。

(5) 显示电路的设计

数字显示器原理见图 2-18。

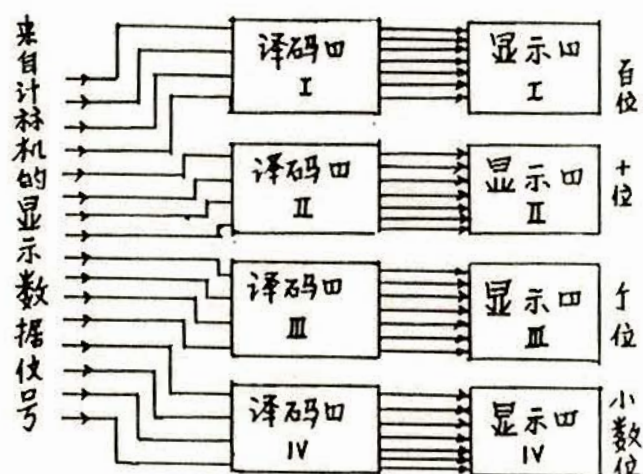


图 2-18. 数字显示器原理

由计算机输出的四位 BCD 码，分别驱动百、+、个和小数位显示器，显示器是否熄灭也由计算机控制。

(6) 面板操作开关控制原理

面板操作开关控制原理见图 2-19。

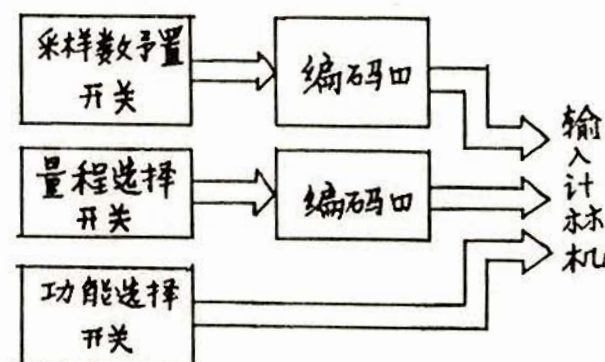


图 2-19. 面板开关控制原理

采样数予置开关分为两组，即十位组和个位组。十位组有七种状态即 0~6，个位组有十种状态即 0~9。量程选择开关也有七种状态，分别为 30~80 dB，40~90 dB，50~100 dB，60~110 dB，70~120 dB，80~130 dB 和 90~140 dB。采样数予置开关的十位组用的编码四与量程选择开关使用的编码四相同，称为编码四 I；采样数予置开关的个位组独立使用一个编码四，称为编码四 II。编码四 I 有两个。编码四 I 和 II 的真值表分别见表 2-3 和 2-4。

由真值表 2-3 和 2-4 可以分别得出如下逻辑表达式：

$$\left\{ \begin{array}{l} G = 4 + 5 + 6 \\ F = 2 + 3 + 6 \\ E = 1 + 3 + 5 \end{array} \right. \quad \text{和} \quad \left\{ \begin{array}{l} D = 8 + 9 \\ C = 4 + 5 + 6 + 7 \\ B = 2 + 3 + 6 + 7 \\ A = 1 + 3 + 5 + 7 + 9 \end{array} \right.$$

根据玻尔代数 (Boolean Algebra)^[28] 将上式变形为本仪四编码四

所采用的形式：

$$\left\{ \begin{array}{l} G = (4+5) + 6 \\ F = (2+3) + 6 \\ E = (1+3) + 5 \end{array} \right. \quad \text{和} \quad \left\{ \begin{array}{l} D = \overline{8+9} \\ C = \overline{6+4 \cdot 5+7} \\ B = \overline{6+2 \cdot 7+3} \\ A = \overline{9+1 \cdot 7+5 \cdot 7+3} \end{array} \right.$$

由上述逻辑表达式即可直接得到逻辑图。^[28]

编码四输入	编码四输出		
	G	F	E
0	0	0	0
1	0	0	1
2	0	1	0
3	0	1	1
4	1	0	0
5	1	0	1
6	1	1	0

表 2-3. 编码四 I 的真值表

编码四输入	编码四输出			
	D	C	B	A
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1

表 2-4. 编码四 II 的真值表

三. 软件开发

1. 程序总框图

图 3-1 给出了程序总框图。

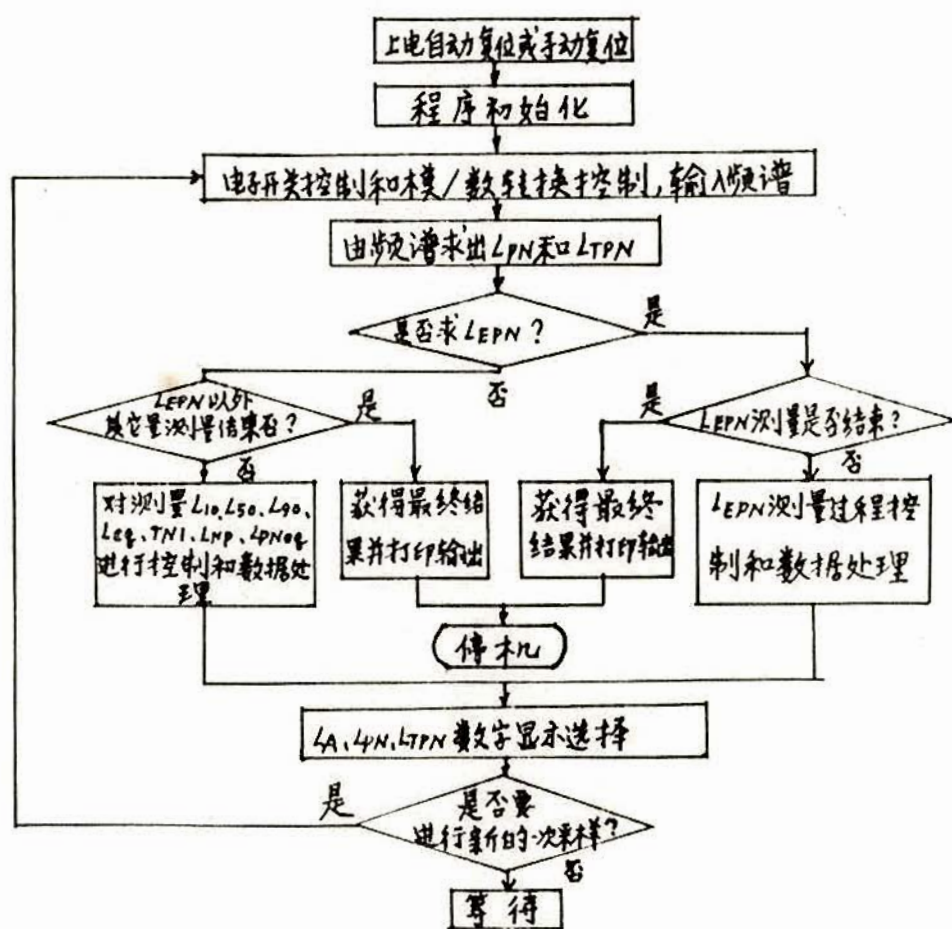


图 3-1. 程序总框图

本仪器使用定点数制和浮点数制^[14, 28]。定点数使用单字节和双字节两种; 在这标时主要使用浮点数。对于二进制浮点数, 常将它表示成两部分: 第一部分表示阶码, 阶码的第一位表示阶符, 其余各位是

用补码表示的阶码的大小，第2部分表示尾数，尾数的第一位表示数的符号，其余各位是用补码表示的尾数数值，尾数的绝对值在0.5~1之间，小数点设在符号位后面。本仪器中还有定点数和上述规格化浮点=进制数相互转化的程序。

图3-1表示了程序实现的基本思想。利用这个程序就能够测出三个主要的声学评价量。其中三个量 L_A 、 L_{PN} 和 L_{TPN} 是时间的函数，随着每次采样得到更新。其它几个量要等到测量结束时才能获得。整个测量结束后要进行复位，使仪器回到测量之前的状态。复位有两种方式，一种是在电源开启时自动复位，另一种是在某次测量结束后用手动复位按钮复位。量程选择开关的位置在测量过程中应保持不变，以保证求 L_N 、 TNI 和 L_{NP} 的正确性。在复位以后、测量开始之前的 L_{EPN} 功能选择开关和采样数预置开关的位置将决定测量开始后仪器执行的功能和测量持续的时间。一旦测量开始，改变它们将不起任何作用。有语病
就不可能使它们中途发生改变。

2. 程序设计介绍

计算机是本仪器的中心，它集中体现了仪器的智能化，是仪器数据处理能力的关键。本仪器在软件方面的研究大大增强了仪器数据处理能力，提高了仪器的自动化水平。

(1) 采用新的数据处理方法

测量开始后，计算机控制电子开关和模/数转换器按时分制工作方式依次将各个1/3倍频带声压级和A计权声级以200微秒的间隔输入计算机，整个频谱输入过程仅需要5毫秒左右的时间。接着，计算机立

即对该频谱进行处理得到 L_{PN} 和 L_{TPN} 。其程序流程图如图 3-2 所示。

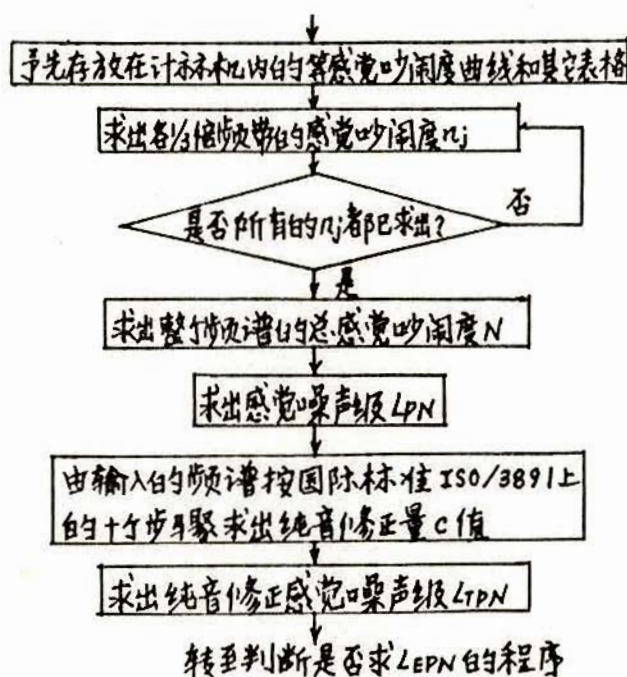


图 3-2. 求 L_{PN} 和 L_{TPN} 的程序流程图

从图 3-2 可以看出, 求出 L_{PN} 和 L_{TPN} 后, 由于其它与频谱有关的评价量的求取仅依赖于 L_{PN} 或 L_{TPN} , 因此该频谱占用的内存单元可以空出, 用于下次采样时存放新的频谱。如果接着要求出 L_{PNeg} , 程序将根据 L_{PNeg} 的数学表达式: (式中各量的定义见第二章第一节)

$$L_{PNeg} = 10 \lg \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{L_{PNi}/10} \right)$$

首先求出 $10^{L_{PN}/10}$, 然后将它与前面各次求得的 $10^{L_{PN}/10}$ 的累计值相加, 如此进行下去, 直到累计的个数与予置的采样数目 N 相等为止。最后, 再将累计值除以 N 、取对数并乘以 10 得到 L_{PNeg} 。本仪器最多允许有 65,000 个采样数, 因此它可以连续地对多达 65,000 个频谱进行处理, 求

出 65,000 个 L_{PN} 的“能量”平均值 L_{PNeg} 。由于采用了上述边测量边处理的新的数据处理方法,因此,只要占用很少的计标机内存量,就可以完成大量的数据处理工作,从根本上解决了单板计标机内存量不足困难。而单板计标机本身体积小、重量轻、价格便宜,能够与仪四的其它部分装在一个不大的机箱内,使仪四操作简便,方便了现场测量工作。相反,国外的一些相类似的仪四,例如, B&K 2131 + Tektronix 4051 组成的声学测试系统采用较高级的微处理机系统作为数据处理中心并采用高级语言编制程序,以及采用软件延时定时方法和输入一定量频谱后再处理的数据处理方法,因此能处理的频谱数量很有限,没有测量 L_{PNeg} 的功能。仅其微处理机系统就占用很大的体积,并且重量较重,价格昂贵,整机操作比较麻烦,现场测量不很方便。此外,由于要一定量的频谱输入完毕后才进行处理,因此它不能实时地给出某时刻被测噪声的 L_{PN} 和 L_{TPN} 值。

(2) 为了使计标机能按给定的采样周期进行采样,仪四必须有定时装置。在通常不使用计标机的定时中,常常用数字电路组成的计数口定时^[28]或用 RC 模拟电路组成的具有一定的充放电时间常数的定时口定时。而使用计标机定时有两种方法,一种用软件延时的定时方法,另一种采用中断工作方式的定时^[29]。软件延时定时方法的缺点是在定时期间,计标机进入一个固定的循环程序,因而不能进行其它的数据处理工作。本仪四使用单板计标机上可编程时钟与计标机程序控制相结合的方法,进行中断定时,程序总框图 3-1 说明了其工作原理。在计

计标机处理完所有数据进入等待状态后，每当可编程时钟发出中断请求信号，计标机就进入中断服务程序，修改时间参数，然后将该时间参数与预先设定的采样周期相比较，如果相符，计标机自动进行下一次采样。

由上可见，只有采用中断定时控制的方法，才能在两次采样的间隔内进行数据处理。本仪正是由于采用了这种定时工作方法，才能够边测量边数据处理，而象国外 B&K 2131 + Tektronix 4051 组成的声学测试系统使用软件延时定时方法，因此它不能进行边测量边处理。

(3) L_{PN} 、 L_{TPN} 和 L_A 的现场测量

从图 3-1 的程序总框图可见，在每次采样中仪四都能由频谱计标出 L_{PN} 和 L_{TPN} ；并对模/数转换器输入的 A 声级加上仪四的衰减量后求出 L_A 。因此，可以根据测量者的需要，分别由数字显示器显示 L_{PN} 、 L_{TPN} 和 L_A 值，并观察它们随时间的变化关系，这对现场测量无疑带来了方便。与此相比较，国外的 B&K 2131 + Tektronix 4051 组成的声学测试系统不能实时地显示 L_{PN} 和 L_{TPN} ，只能在一定量的频谱输入计标机后，在计标 L_{EPN} 时给出 L_{TPN} 随时间的变化关系，而没有给出 L_{PN} 的值。

(4) 缩短程序执行时间

从图 3-2 求 L_{PN} 和 L_{TPN} 的程序框图中可以看出，求每个 $1/3$ 倍频带感觉闹度时都要进行指数运算， $n_i = 10^{0.05(L_i - L_{0i})}$ （式中各量的定义见第二章第一节），并且由于有 24 个 $1/3$ 倍频带，因此程序要循环 24 次，从而整个程序的执行时间很大程度上取决于 n_i 的运算时间。将短暂的采样

周期扣除程序其它部分的执行时间,在剩余的时间内要将所有的 n_j ($j=1,2,\dots,24$) 求出,这要求每个 n_j 的计标时间不能太长。为此,设计了利用查表法求指数函数的程序,使求指数函数的时间与本仪口的要求相一致,而不采用费时较多的级数展开求函数的方法。

(5) 测量 $LEPN$ 时仪口的抗干扰措施和飞机飞越过程起迄点的自动判断

图 3-3 给出了测量 $LEPN$ 时利用程序自动排除某些干扰的程序流程图。

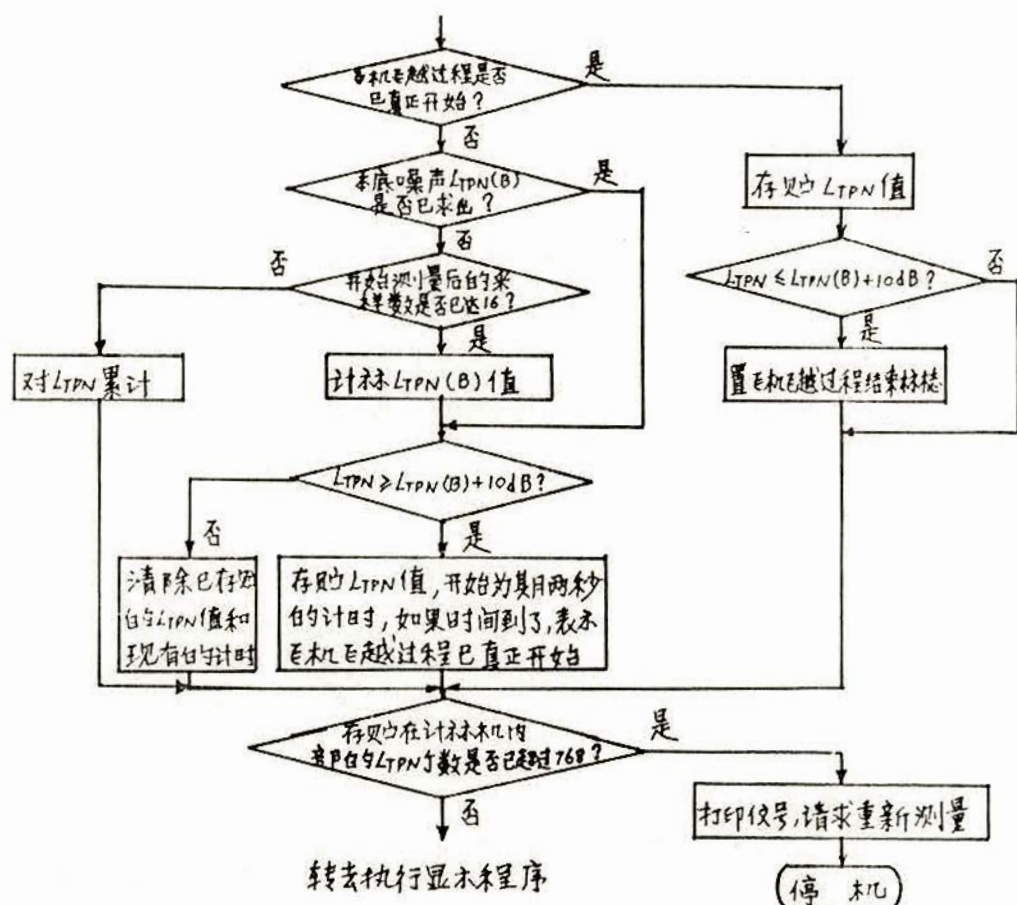


图 3-3. 求 $LEPN$ 时排除干扰的程序流程图

从图 3-3 可见, 本仪将程序开始执行时的前 5 个 L_{TPN} 值求算术平均值后作为飞机飞越过程还未开始时测试点的本底噪声 $L_{TPN}(B)$, 如果在飞机飞越过程还未开始之前出现某些高声级, 以致 $L_{TPN} \geq L_{TPN}(B) + 10 \text{ dB}$, 只要高声级的持续时间小于 2 秒, 程序将自动清除已存入计算机的 L_{TPN} 值, 并把计时的起点重新拨到另。如果出现一个干扰序列, 只要它们的时间间隔能使清除过程完成, 那么本仪仍具有抗干扰能力。

从图 3-3 还可以看出, 仪能够自动地判断飞机飞越过程的开始和结束, 并对整个飞越过程的 L_{TPN} 值进行存贮, 以便据此进一步求出 L_{EPN} 值。

(6) 不属于飞机飞越情况的判别

如果仪判断飞机飞越过程已经真正开始, 若这时出现飞机在观测点上空盘旋或周围的某些干扰使 L_{TPN} 值一直大于 $L_{TPN}(B) + 10 \text{ dB}$, 如果持续的时间比较长, 使存贮的 L_{TPN} 值的个数超过 768 时, 仪将打印出信息, 请求重新进行测量并自行停机。这样, 仪对某些不属于飞机飞越的情况以及飞越过程中伴随出现的持续干扰具有自动鉴别能力。这也可从图 3-3 看出。

(7) 本底噪声较大时的处理

图 3-4 给出了本底噪声较大时仪自动鉴别的程序流程图。

从图中可以看出, 飞机飞越过程结束后, 程序将在存贮的 L_{TPN} 值中寻找出最大值 $L_{TPN_{max}}$, 并将它与本底噪声 $L_{TPN}(B)$ 进行比较, 看它是

否比 $L_{TPN}(B)$ 大 20 dB 以上, 如果不是, 仪口将自动给出数据无效的标志。

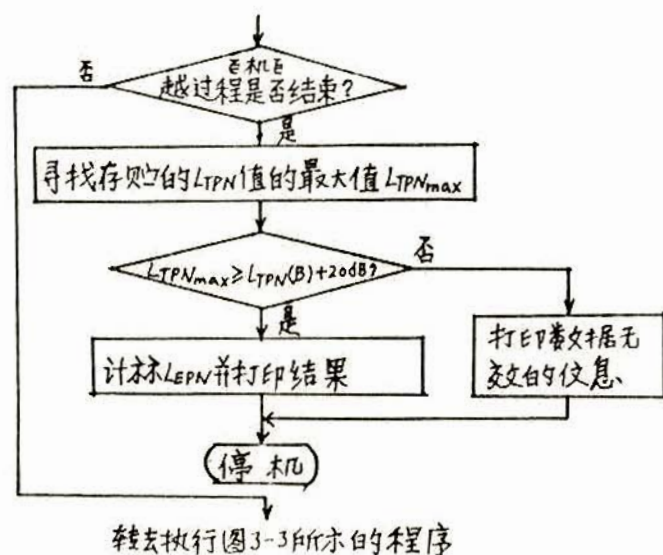


图3-4. 求 L_{EPN} 时鉴别本底噪声过高的程序流程图

(8) 仪口的其它一些功能

本仪口的电子开关闭合时间长短、开关导通的次序以及模/数转换口转换过程的控制全部由计算机通过可编程输入输出接口^[29, 30]实现, 显示的十进制数码也是经过计算机进行二进制 $\rightarrow$ 十进制转换后给出的, 此外, 面板上采样数字置值以及量程编码的信息也是通过计算机翻译成所需要的数值。由于上述这些工作都由计算机程序完成, 因此节省了大量的硬件电路, 减少了电路出故障的机会, 增加了仪口的可靠性, 降低了费用。

从图3-1的程序流程图可见, 无论是否测量 L_{EPN} , 程序总是先求出 L_{PN} 和 L_{TPN} 值, 在测量 L_0 、 L_{50} 、 L_{90} 、 L_{eq} 、 L_{np} 和 $TN1$ 时, 也同时求出 L_{PNeg} 。

因此, 本仪器可以方便地用于研究 L_{PN} 、 L_{TPN} 和 L_{PNeg} 这三个主要用于评价飞机噪声的量与其它一些主要用于评价非稳态噪声 (例如交通噪声等) 的各量之间的关系以及这三个量的适用范围。当然, 上述 L_{NP} 和 L_{eq} 也可以用于评价受飞机噪声影响的环境噪声。^[1, 21]

从以上的介绍可以看出, 虽然本仪器主要用于测量飞机噪声, 但它实际上还是一台噪声级分析仪 (Noise Level Analyzer), 它包含了丹麦 B&K 4426 噪声级分析仪的主要功能, 除此以外还能够直接获得 L_{NP} 和 TNI 。因此, 本仪器是一台用途广泛的多功能噪声测量仪器。

3. 程序的检验

(1) L_{PN} 和 L_{TPN} 程序的检验

(i) 按国际标准 ISO/3891 的附录所给出的求纯音修正量的示例, 将其中各个 1/3 倍频带声压级值都增加 5 dB (这对频谱的不规则性无影响, 即纯音修正量的数值不会因此而改变), 并假设中心频率为 50 Hz 和 63 Hz 的 1/3 倍频带声压级为 70 dB 和 72 dB; 然后将这些值当作从模/数转换电路输入的 1/3 倍频带声压级值, 直接从计算机键盘输入到相应的存储单元。直接由计算机计测的结果和由手工计测的结果的比较见表 3-1。

(ii) 假定所有的 1/3 倍频带声压级都是 30 或 40、50、60、70、80、90 dB, 由于这时不存在频谱的不规则性, 纯音修正量 C 值等于 0, 即: $L_{PN} = L_{TPN}$ 。手工计测的结果和计算机计测的结果的比较见表 3-2。

(iii) 因从 50 Hz ~ 10 KHz 输入一组频谱 (它是现场录音的飞机噪声信号某一瞬间的频谱), 手工计测与计算机计测的结果的比较见表 3-3,

其频谱图见图 3-5。

1/3倍频带中心 频率(Hz)	输入的1/3倍频 带声压级(dB)	手工计测的感 觉闹度(moy)	计测机计测的 感觉闹度(moy)	手工计测的 L_{PN} 和 L_{TPN}	计测机计测 的 L_{PN} 和 L_{TPN}
50	70	1.82	1.82		
63	72	3.07	3.07		
80	75	5.01	5.01		
100	67	3.28	3.28		
125	75	7.05	7.05		
160	85	16.00	16.10		
200	87	21.11	21.12		
250	88	24.24	24.29	$L_{PN}=109.7\text{dB}$	$L_{PN}=109.7\text{dB}$
315	81	15.72	15.73	$L_{TPN}=111.7\text{dB}$	$L_{TPN}=111.7\text{dB}$
400	85	22.62	22.65	纯音修正量C =2dB	纯音修正量C =2dB
500	85	22.62	22.65		
630	84	21.11	21.12		
800	83	19.69	19.74		
1000	85	22.62	22.65		
1250	83	22.62	22.65		
1600	81	25.59	25.64		
2000	84	36.13	36.15		
2500	90	62.75	62.80		
3150	84	44.44	44.49		
4000	83	41.48	41.49		
5000	76	23.89	23.89		
6300	65	10.44	10.44		
8000	59	5.61	5.61		
10000	50	2.40	2.40		

表 3-1. L_{PN} 和 L_{TPN} 的计测程序检验(i)

各1/3倍频带声压级都是下列数值	30dB	40dB	50dB	60dB	70dB	80dB	90dB
L_{PN} 和 L_{TPN} 手标结果	54.7dB	65.1dB	75.4dB	85.5dB	95.6dB	105.8dB	115.8dB
L_{PN} 和 L_{TPN} 计测机计测结果	54.7dB	65.0dB	75.3dB	85.4dB	95.6dB	105.7dB	115.8dB

表 3-2. L_{PN} 和 L_{TPN} 的计测程序检验(ii)

1/3倍频带中心 频率(Hz)	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630
1/3倍频带声压 级(dB)	66.00	64.50	73.00	73.50	84.50	85.50	90.00	90.00	96.00	93.50	90.00	91.25
1/3倍频带中心 频率(Hz)	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
1/3倍频带声压 级(dB)	89.50	89.50	88.00	88.00	85.75	81.50	84.75	79.00	77.50	77.50	74.00	71.75
手工计标的 数值	$L_{PN} = 110.5 \text{ dB}$				$L_{TPN} = 112.3 \text{ dB}$				$C = 1.8 \text{ dB}$			
计标机计 标的数值	$L_{PN} = 110.5 \text{ dB}$				$L_{TPN} = 112.0 \text{ dB}$				$C = 1.5 \text{ dB}^*$			

* 本仪器求纯音修正量C的精度为0.5 dB

表 3-3. L_{PN} 和 L_{TPN} 的计标程序检验(iii)

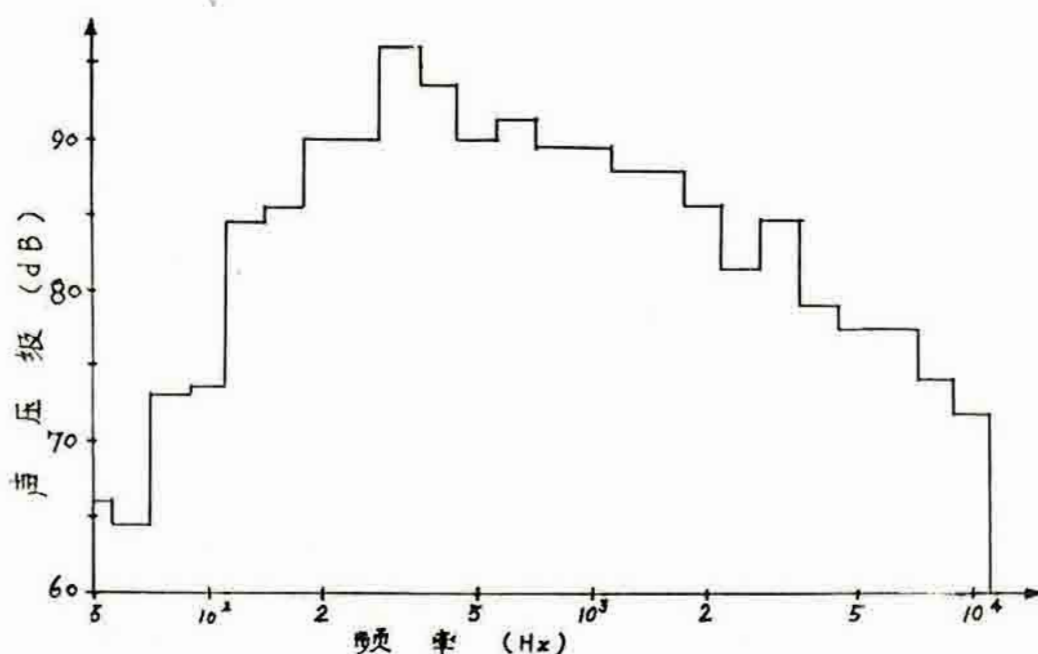


图 3-5. 飞机噪声信号某一瞬间的频谱

从上面给出的三个求 L_{PN} 和 L_{TPN} 程序的检验例子可以看出, 计标 L_{PN} 和 L_{TPN} 的程序是正确的。因此, 只要输入的频谱是正确的, 那么 L_{PN} 和 L_{TPN} 的数值就是正确的。

(2) $L_{TPN}(B)$ 、 L_{TPNmax} 和 L_{EPN} 计标程序的检验

(i) $L_{TPN}(B)$ 的检验

在存贮频谱的位置放入表 3-1 以及表 3-2 所示的频谱, 控制程序执行十次以上, 从图 3-3 的程序流程图可以看出, 这时即能求出 $L_{TPN}(B)$ 值。由于输入的频谱每次都不改变, 因此十次的 L_{TPN} 的平均值就是 L_{TPN} 本身, 因此, $L_{TPN}(B) = L_{TPN}$ 应该成立。表 3-4 给出了实验结果。

频谱输入方式	表 3-1 所示的频谱	30dB	40dB	50dB	60dB	70dB	80dB	90dB
$L_{TPN}(B)$ 计标机计标值	111.7dB	54.7dB	65.0dB	75.3dB	85.4dB	95.6dB	105.7dB	115.8dB

表 3-4. $L_{TPN}(B)$ 计标程序的检验

将表 3-4 与表 3-1、表 3-2 对照, 即可证明 $L_{TPN}(B) = L_{TPN}$ 。

(ii) L_{TPNmax} 和 L_{EPN} 计标程序的检验

在某次飞机飞越的过程中, 存贮在计标机内的部分 L_{TPN} 值如表 3-5 所示。由该 L_{TPN} 随时间的变化关系, 可以求出 L_{TPNmax} 和 L_{EPN} 。由手工寻找出的 L_{TPNmax} 和由手工计标出的 L_{EPN} 值分别与计标机计标并打印输出的数值的比较也在表 3-5 中给出。

此外, 还对多架飞机的飞越噪声按上述方法进行了检验, L_{TPNmax}

的手工寻找值和 L_{EPN} 的手工计标值分别与计标机打印输出的数值的比较表明, 其误差不大于 0.1 dB。

编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
L_{TPN} (dB)	97.1	100.0	109.4	111.4	114.3	116.0	116.1	114.3	116.3	114.6	113.7	112.1
编号	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
L_{TPN} (dB)	110.9	110.4	108.6	107.8	107.0	106.3	105.8	104.4	103.3	102.6	102.3	101.3
手工计标值	$L_{TPNmax} = 116.3$ dB						$L_{EPN} = 112.0$ dB					
计标机计标值	$L_{TPNmax} = 116.3$ dB						$L_{EPN} = 111.9$ dB					

表 3-5 L_{TPNmax} 和 L_{EPN} 计标程序的检验

(3) L_{PNeq} 计标程序的检验

(i) 根据 $L_{PNeq} = 10 \lg \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{L_{PNi}/10} \right)$ (参见第二章第一节), 设 $N=3$, 然后在存放 L_{PN} 的位置上依次放入三个 L_{PN} 值, 控制程序, 使之运行三次并打印输出。表 3-6 给出了手工计标结果和计标机打印输出的结果的比较, 同时还列出了某些中间计标过程。

编号	输入的 L_{TPN} 值	$10^{L_{PN}/10}$ 的手工计标值	$10^{L_{PN}/10}$ 的计标机计标值	$\sum_{i=1}^N 10^{L_{PNi}/10}$ 的手工计标值	$\sum_{i=1}^N 10^{L_{PNi}/10}$ 的计标机计标值	L_{PNeq} 的手工计标值	L_{PNeq} 的计标机计标值
1	76 dB	3.981×10^7	3.981×10^7				
2	85 dB	3.162×10^8	3.162×10^8	2.867×10^9	2.867×10^9	89.8 dB	89.8 dB
3	94 dB	2.511×10^9	2.511×10^9				

表 3-6. L_{PNeq} 计标程序的检验 (i)

(ii) 按表 3-2 所示的方法, 将各 1/3 倍频带声压级都假定为 30 或 40、50、60、70、80、90 dB。这样, 对应于每种输入都可以计标出一个 L_{PN} 值, 上述七种输入共可以计标出七个不同的 L_{PN} 值。再假定对于每种输入, 都让程序循环执行若干次 (这里取 1000 次)。由于每次执行时频谱都不改变, 因此每次执行时得出的 L_{PN} 值也不改变, 执行 1000 次后具“能量”平均的结果还应当是 L_{PN} , 即 $L_{PNeq} = L_{PN}$ ($N=1000$)。表 3-7 给出了试验结果。

各 1/3 倍频带声压级都是下列数值 (dB)	30	40	50	60	70	80	90
L_{PN} (dB)	54.7	65.0	75.3	85.4	95.6	105.7	115.8
L_{PNeq} (dB)	54.7	65.0	75.3	85.4	95.6	105.7	115.8

表 3-7. L_{PNeq} 计标程序检验(ii)

从表 3-7 可见, 计标机计标结果与予期结果完全符合。

(4) L_N 、 L_{eq} 、 L_{NP} 和 TNI 计标程序的检验

(i) 在计标机内部存放 L_A 数值的地方存放 30 或 40、50、60、70、80、90 dB, 对于每一种存放方式, 都让程序循环执行若干次 (这里取 1000 次)。这样, 相当于每次采样都得到同一个 A 声级值。因此, 可以予期执行 1000 次后应该有 $L_{10} = L_{50} = L_{90} = L_{eq} = L_{NP} = L_A$, $TNI = L_A - 30$ 。计标机打印输出的结果见表 3-8。

(ii) 表 3-9 给出了用 250 个 L_A 值计标 L_{10} 、 L_{50} 和 L_{90} 的手工计标结果和计标机计标结果的比较。

(iii) 如果仪四衰减量为 50dB (即量程为 50~100dB), 并且 L_A 依次输入值为 85、95 和 105dB (即 $N=3$), 然后令 $L'_A = L_A - 50$, 则 L_{eq} 和 L_{NP} 的另一种检验如表 3-10 所示。

(iv) 至于对 TNI 计标程序的检验很方便, 根据 $TNI = 4(L_{10} - L_{90}) + L_{90} - 30$ (参见第二章第一节) 的公式, 可以从各次测量得到的 L_{10} 和 L_{90} 计标出 TNI , 并将它与由仪四直接得出的结果相比较。由多次计标和测量表明, 其符合程度相当高。

输入的 L_A 值 (dB)	30.00	40.00	50.00	60.00	70.00	80.00	90.00
L_{10} (dB)	30.0	40.0	50.0	59.9	70.00	80.0	90.0
L_{50} (dB)	30.0	40.0	50.0	59.9	70.00	80.0	90.0
L_{90} (dB)	30.0	40.0	50.0	59.9	70.00	80.0	90.0
L_{eq} (dB)	30.0	40.0	50.0	60.0	70.00	80.0	90.0
L_{NP} (dB)	30.0	40.0	50.0	60.0	70.00	80.0	90.0
TNI (dB)	0.0	10.0	20.0	30.0	40.0	49.9	59.9

表 3-8. L_N 、 L_{eq} 、 L_{NP} 、 TNI 计标程序的一种检验

A 声级 (dB)	输入个数	总输入个数	手工计标值 (dB)			计标机计标值 (dB)		
			L_{10}	L_{50}	L_{90}	L_{10}	L_{50}	L_{90}
50.00	1	250	113.0	55.0	50.75	113.0	54.9	50.7
50.25	3							
50.50	7							
50.75	15							
51.00	35							
51.25	80							
51.50	84							
51.75	16							
52.00	6							
52.25	2							
52.50	1							

表 3-9. L_N 计标程序的另一种检验

编号	L_A (dB)	手工计标值			计算机计标值			L_A (dB)	手工计标值			计算机计标值		
		$10^{L_A/10}$	$\sum_{i=1}^3 L_{Ai}/10$	L_{eq} (dB)	$10^{L_A/10}$	$\sum_{i=1}^3 L_{Ai}/10$	L_{eq} (dB)		$\sum_{i=1}^3 L_{Ai}$	$\sum_{i=1}^3 (L_{Ai})^2$	L_{NP} (dB)	$\sum_{i=1}^3 L_{Ai}$	$\sum_{i=1}^3 (L_{Ai})^2$	L_{NP} (dB)
1	85	3.162×10^8			3.162×10^8			35						
2	95	3.162×10^9	3.510×10^{10}	100.7	3.162×10^9	3.510×10^{10}	100.6	45	1.350×10^3	6.275×10^3	126.3	1.350×10^3	6.275×10^3	126.2
3	105	3.162×10^{10}			3.162×10^{10}			55						

表 3-10. L_{eq} 和 L_{NP} 计标程序的另一种检验

表 3-10 中的 L_A 是本仪口中计标 L_{NP} 时实际使用的 A 声级。由 σ 的表达式 $\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (L_{Ai} - \bar{L}_A)^2}$ (参见第二章第一节), 如果将每个 L_{Ai} 值都减去一个固定的数 (此处为 50), 那么 σ 值不变, 从而 L_{NP} 值是正确的。这种计标方法只是从程序设计方便的角度考虑的。

(5) 上述检验的小结

从上面给出的所有数据表格中可以看出计标机计标结果是正确的, 它们与由手工计标的结果比较, 误差很小; 这表明这些计标程序是正确的。本仪口模/数转换口的精度是 0.25 dB, 在输入电压较小和较大时, 其最大误差可达 0.5 dB, 因此, 计标机程序的计标精度优于模/数转换口的精度, 程序计标带来的误差可以忽略。因此, 只要输入计标机的频谱和 A 声级是正确的, 其它与频谱有关的各评价量和与 A 声级有关的各评价量必定正确。所以, 要提高整机的精度, 关键在于提高在模/数转换之前的模拟电子线路的精度。

四. 现场录音仪号的分析及其结果

1. 飞机飞越噪声仪号的分析

飞机噪声仪号是在江湾飞机场录制的, 现场录音原理见图 4-1。

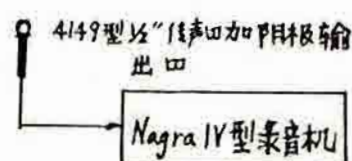


图 4-1. 现场录音原理

录音时 Nagra IV 型录音机的带速为 15"/秒, 并选用西德 BASF 型磁带。

系统的总频响见附录 3。录音后手工分析原理如图 4-2 所示。

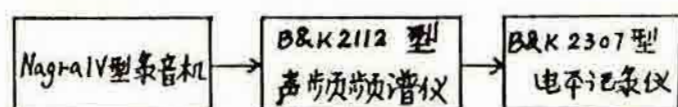


图 4-2. 手工分析原理

手工分析时, 首先将磁带的某一位置做记号, 然后用 2112 型声频频谱仪上的 1/3 倍频程滤波器对录音机输出仪号进行滤波, 并在电平记录仪上记录。每换一个中心频率, 磁带就从同一个起点分析一次。这样, 就可将整个飞机飞越过程的频谱随时间的变化关系记录下来。根据频谱和 LTPN 的定义就可以计算出每隔 0.5 秒的 LTPN 值。

在手工计算后, 用本仪对同一磁带仪号进行分析, 分析原理见图 4-3。



图 4-3. 飞机、道路噪声微机自控分析仪分析原理

按图 4-3 用本仪对飞机飞越噪声信号进行分析, 然后由本仪打印输出结果。为了得到飞机飞越过程的 $L_{TPN} \sim t$ 的变化关系, 将计算机内部存储的 L_{TPN} 找出, 这就是所测量到的 $L_{TPN} \sim t$ 的变化关系, 它与手工计标值的比较见图 4-4 ~ 4-12。

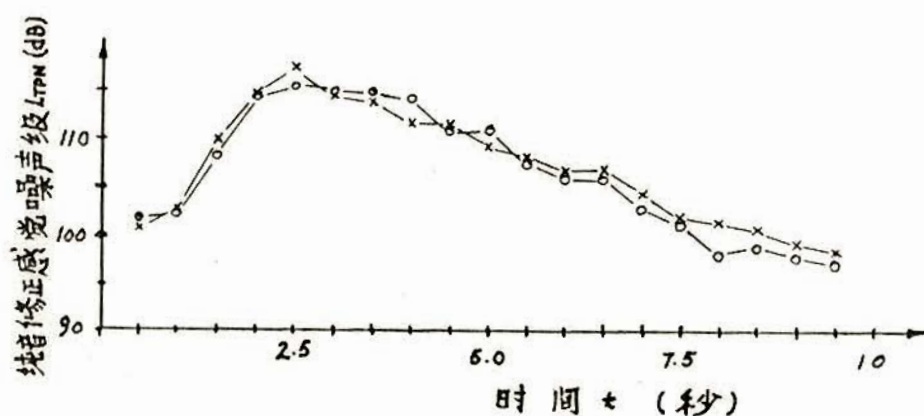


图 4-4. 第一架飞机飞越过程的 $L_{TPN} \sim t$ 变化规律

x —— 噪声微机分析仪测出的数据

o —— 手工计标得出的数据

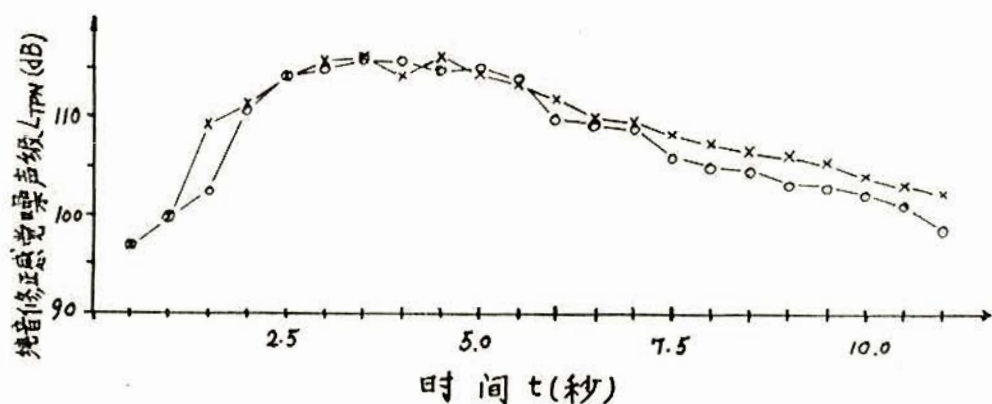


图 4-5. 第二架飞机飞越过程的 $L_{TPN} \sim t$ 变化规律

x —— 噪声微机分析仪测出的数据

o —— 手工计算得出的数据

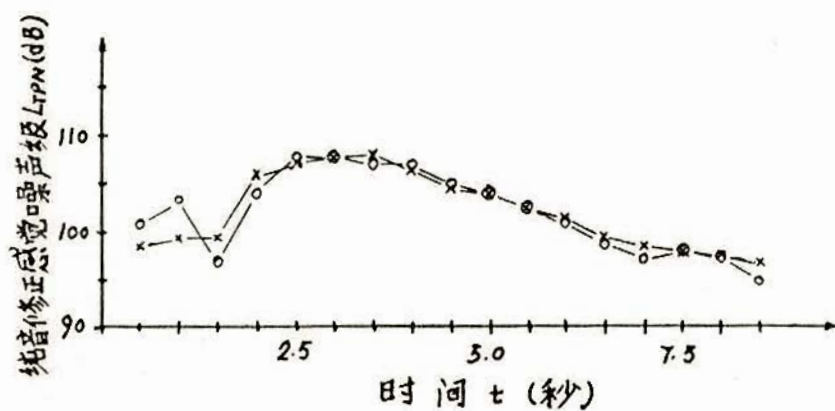


图 4-6. 第三架飞机飞越过程的 $L_{TPN} \sim t$ 变化规律

x —— 噪声微机分析仪测出的数据

o —— 手工计算得出的数据

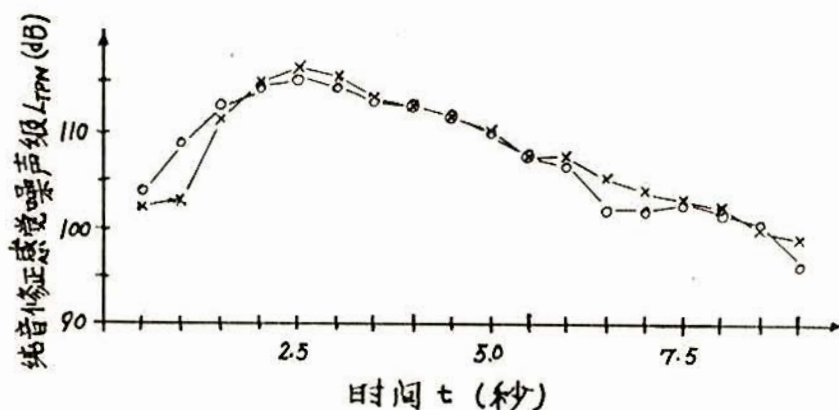


图 4-7. 第四架飞机飞越过程的 $LTPN \sim t$ 变化规律

x —— 噪声微机分析仪测出的数据

o —— 手工计算得出的数据

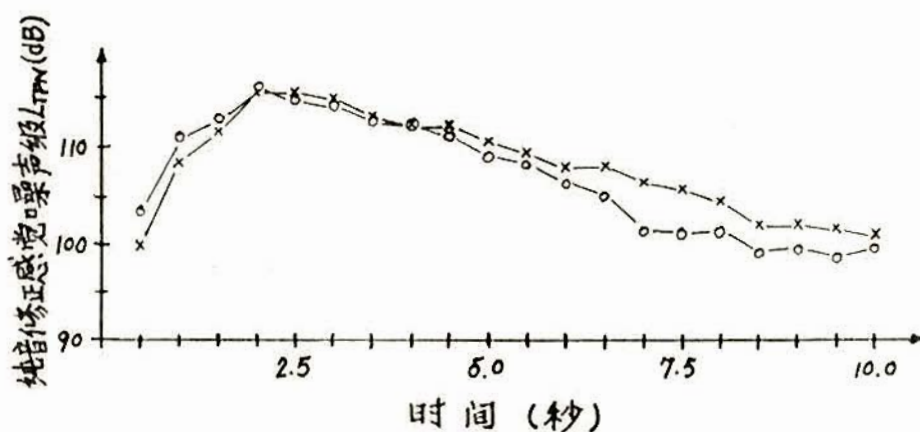


图 4-8. 第五架飞机飞越过程的 $LTPN \sim t$ 变化规律

x —— 噪声微机分析仪测出的数据

o —— 手工计算得出的数据

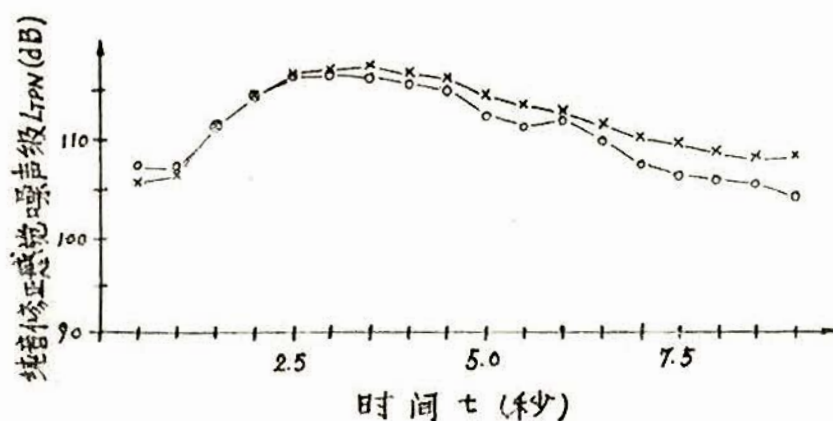


图 4-9. 第六架飞机飞越过程的 $L_{TPN} \sim t$ 变化规律

x —— 噪声微机分析仪测出的数据

o —— 手工计标得出的数据

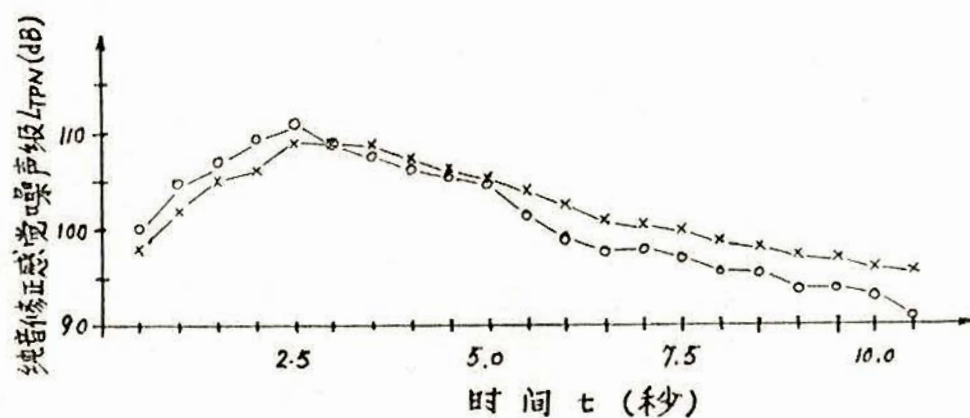
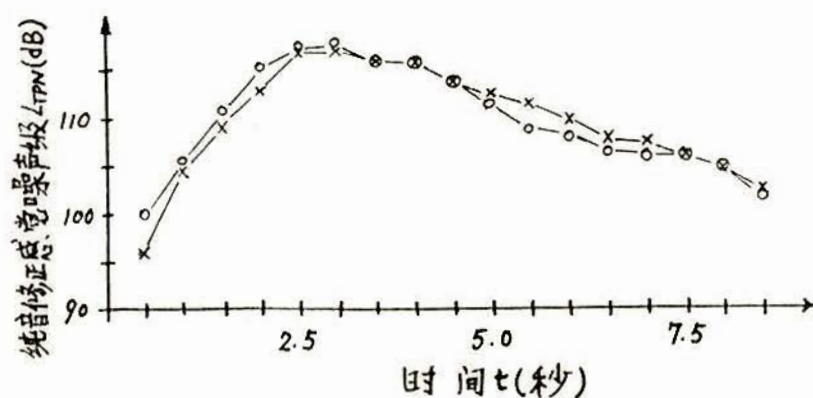


图 4-10. 第七架飞机飞越过程的 $L_{TPN} \sim t$ 变化规律

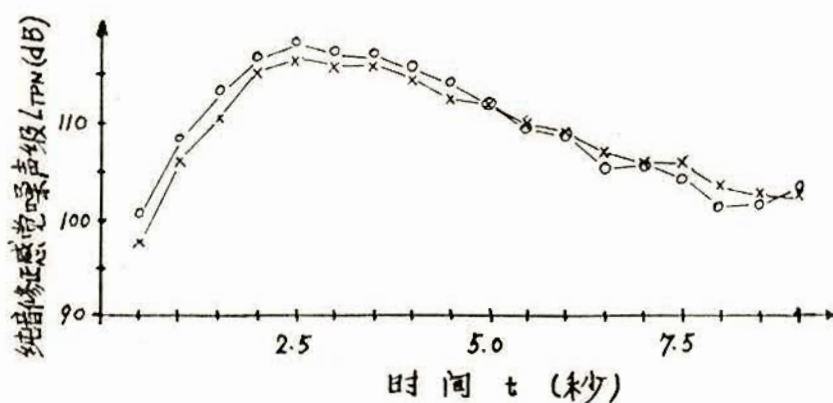
x —— 噪声微机分析仪测出的数据

o —— 手工计标得出的数据

图 4-11. 第八架飞机飞越过程的 $L_{TPN} \sim t$ 变化规律

x —— 噪声微机分析仪测出的数据

o —— 手工计算得出的数据

图 4-12. 第九架飞机飞越过程的 $L_{TPN} \sim t$ 变化规律

x —— 噪声微机分析仪测出的数据

o —— 手工计算得出的数据

从图 4-4 ~ 图 4-9 所示的九架飞机飞越噪声, 可以由手工计算出

L_{EPN} 值。由计标机打印输出的 L_{EPN} 结果与由手工计标的结果的比较见表 4-1。

飞机架次	1	2	3	4	5	6	7	8	9
手工计标的 $L_{EPN}(dB)$	110.0	111.4	102.6	109.9	110.0	112.0	104.5	111.5	112.6
仪器测出的 $L_{EPN}(dB)$	110.0	111.9	102.9	110.1	110.3	113.3	104.2	111.3	110.9
仪器测出值与手工计标值之差	0.0	+0.5	+0.3	+0.2	+0.3	+1.3	-0.3	-0.2	-1.7

表 4-1. L_{EPN} 手工计标值和仪器测出值的比较

由此可见，由噪声微机分析仪测出的各个 $L_{TPN} \sim t$ 变化规律与手工计标得出的规律基本相同。对于 L_{EPN} ，除了飞机架次 6 和 9 差别稍大外，其它差别均很小。差别较大的原因是电平记录仪的时间常数不可能与本仪器完全相同；对由电平记录仪记录的频谱进行人工采样时，其各采样时刻也难以做到与本仪器严格相同；由于飞机离测点较近，飞机飞越过程持续的时间较短，只有几秒钟，因此声级变化剧烈；另外飞机噪声是随机噪声，各种检波门多少都存在统计误差（平均时间较短时统计误差较大），因此测试过程本身就具有一定的不确定性。

至于 L_{pNeg} ，由于已验证过它的计标程序是正确的，因此只要 L_{pN} 值是正确的，它的结果必然正确。由以上分析可见， L_{pN} 的误差不大，因而 L_{pNeg} 的误差可以预计与 L_{pN} 的误差为同一数量级，不会很大。

2. 道路交通噪声信号的分析

现场录音的道路交通噪声信号来自上海市杨浦区的大连东路、大

连西路和四平路大连路口，录音时间是在交通比较繁忙的上午 8:45 ~ 10:30，录音原理见图 4-1。录音时用西德 BASF 型磁带和 7.5"/秒的速度记录 20 分钟左右。



图 4-13. B&K 4426 型噪声级分析仪分析原理

利用丹麦 B&K 4426 噪声级分析仪和本仪同时对上述记录的道路噪声信号进行分析，其分析原理分别见图 4-13 和图 4-3。本仪分析结果与 B&K 4426 噪声级分析仪分析结果的差别见表 4-2。（分析条件都是：采样周期 0.5 秒，采样数 2,000）。表中“Δ”表示结果的差别。

录音编号	1	2	3	4	5	6	7
$\Delta L_{10}(\text{dB})$	0.0	0.0	-0.3	+0.2	+0.7	+0.2	0.0
$\Delta L_{50}(\text{dB})$	+0.2	+0.2	+0.2	+0.2	+0.5	+0.2	+0.2
$\Delta L_{90}(\text{dB})$	+0.4	+0.2	-0.1	+0.4	+0.5	+0.2	0.0
$\Delta L_{eq}(\text{dB})$	+0.2	+0.1	+0.1	+0.4	+0.9	+0.3	0.0

表 4-2. 噪声微机分析仪分析结果与 B&K 4426 型噪声级分析仪分析结果的差别

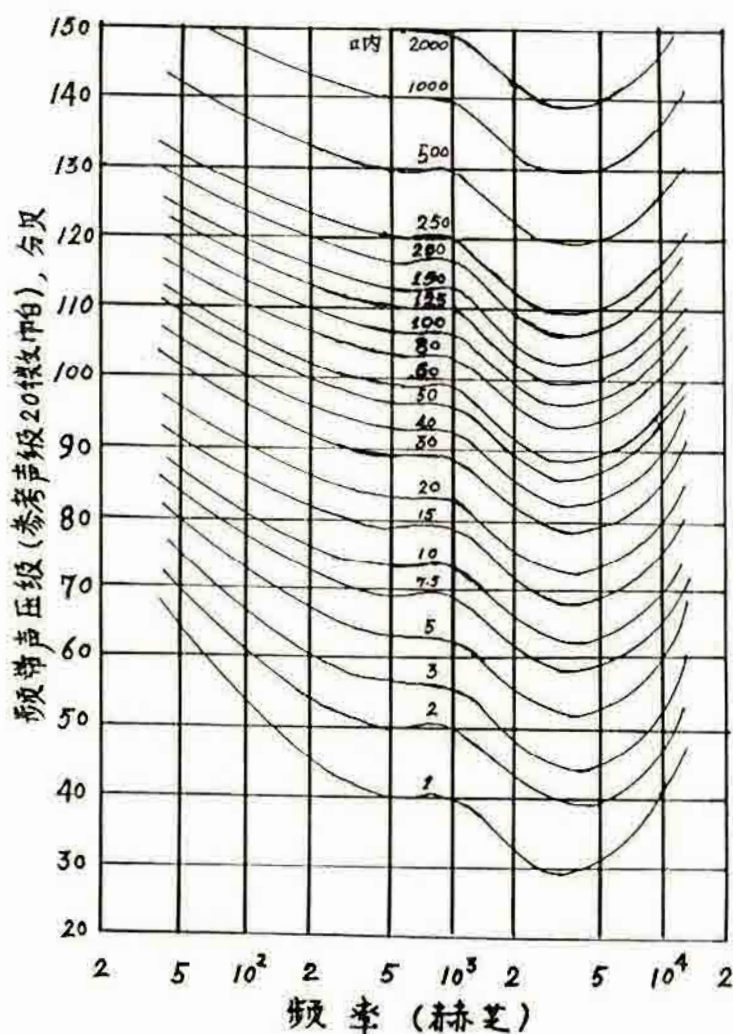
$TN1$ 可根据表达式 $TN1 = 4(L_{10} - L_{90}) + L_{90} - 30$ （参见第二章第一节）由本仪测出的 L_{10} 和 L_{90} 计算，其结果与仪打印输出的结果的差别小于或等于 0.2 dB。

至于 L_{NP} , 由于其计标程序正确, 因此只要 L_A 正确, 其结果必然正确。由表 4-2 看出, L_A 的误差不会很大, 所以 L_{NP} 的误差只比 L_A 的误差稍大些, 这是因为 $L_{NP} = L_{eq} + 2.56\sigma$ 的缘故。其中标准偏差 σ 的误差和 L_{eq} 的误差都与 L_A 的误差同数量级, 而 σ 前面乘上系数 2.56 且 L_{eq} 往往比 2.56σ 大, 因此 σ 的误差被扩大了 2.56 倍后以绝对误差的形式加到 L_{eq} 上, 因而 L_{NP} 的有效数字可能减少, 即相对误差会比 L_{eq} 或 σ 略有增加。

五. 致谢

本文是在郑长聚付教授的指导下完成的, 在仪器研制过程中还得到仇乃琛付教授以及洪宗辉、方启文和姜庚酉同志的帮助, 特此致谢。

六. 附表

附表 1. 等感觉吵闹度曲线和 m 、 L_0 系数表

附图 1. 等感觉吵闹度曲线

为了用数字计算机进行噪声频谱与等感觉吵闹度曲线的比较以求出各 1/3 倍频带声压级所具有的感觉吵闹度, 给出了附表 1 所示的 m 和 L_0 系数表。

中心频率 (Hz)	L值较小			L值较大		
	L	m	L ₀	L	m	L ₀
50	64~91	0.04348	64	92~150	0.03010	52
63	60~85	0.04057	60	86~150	0.03010	51
80	56~85	0.03683	56	86~150	0.03010	49
100	53~79	0.03683	53	80~150	0.03010	47
125	51~79	0.03534	51	80~150	0.03010	46
160	48~75	0.03333	48	76~150	0.03010	45
200	46~73	0.03333	46	74~150	0.03010	43
250	44~74	0.03203	44	75~150	0.03010	42
315	42~94	0.03068	42	95~150	0.03010	41
L值的全部范围						
400				40~150	0.03010	40
500				40~150	0.03010	40
630				40~150	0.03010	40
800				40~150	0.03010	40
1000				40~150	0.03010	40
1250				38~148	0.03010	38
1600				34~144	0.02996	34
2000				32~142	0.02996	32
2500				30~140	0.02996	30
3150				29~139	0.02996	29
4000				29~139	0.02996	29
5000				30~140	0.02996	30
6300				31~141	0.02996	31
L值较小						
8000	38~47	0.04229	37	L值较大		
10000	41~50	0.04229	41	48~144	0.02996	34
				51~147	0.02996	37

附表 1. m 和 L₀ 系数表

附录 2. 纯音修正量 c 值的确定步骤和一个具体示例

(1) 求纯音修正量 c 值的 + 个步骤

第一步

计称 $D_{j,i}$, 其中 i 是 1/3 倍频带的频带数, $j=i+1$; $i=1$ 对应于 80 Hz 的中心频率, j 对应于下一个中心频率; L_i 是第 i 个频带的频带声压级; $D_{j,i}$ 是频带 j 和频带 i 的声压级之差。

第二步

对 $|D_{j,i} - D_{j-1,i-1}| > 5 \text{ dB}$ 的 $D_{j,i}$ 画圈。

第三步

a) 如果画过圈的 $D_{j,i}$ 是正的, 并且其代数值大于 $D_{j-1,i-1}$, 对 L_j 画圈。

b) 如果画过圈的 $D_{j,i}$ 是另或是负的, 并且 $D_{j-1,i-1}$ 是正的, 对 L_i 画圈。

第四步

a) 对于所有未画圈的 L_i , 令 $L'_i = L_i$ 。

b) 对于已画过圈的 L_i , 令 L'_i 等于 L_{i-1} 和 L_{i+1} 的算术平均值。

如果最高频带声压级值是画过圈的, 令 $L'_{22} = L_{21} + D_{21,20}$ 。

第五步

计算 $D'_{j,i}$ 。其中 $D'_{j,i}$ 是频带 j 和频带 i 声压级 L'_i 之差。

第六步

计算 $\overline{D'_{j,i}}$ 。其中 $\overline{D'_{j,i}}$ 是 $D'_{j-1,i-1}$, $D'_{j,i}$, $D'_{j+1,i+1}$ 的算术平均值。

如果 $i=1$, 令 $D'_{j-1,i-1} = D'_{j,i}$ 。如果 $i=21$, 令 $D'_{j+1,i+1} = D'_{j,i}$ 。

第七步

令 $\overline{L}_1 = L_1$ 。其它 $\overline{L}_j = \overline{L}_i + \overline{D'_{j,i}}$

第八步

求 F_i , 其中 $F_i = (L_i - \overline{L}_i) > 0$ 。

第九步

从下列式子求出纯音修正量 C :

$$\left. \begin{array}{l} C = F/3 \quad 0 \leq F < 20 \\ C = 6.7 \quad 20 \leq F \end{array} \right\} \text{对 } 500 \sim 5000 \text{ Hz 的 } 1/3 \text{ 倍频带。}$$

$$\left. \begin{array}{l} C = F/6 \quad 0 \leq F < 20 \\ C = 3.3 \quad 20 \leq F \end{array} \right\} \text{对于其它的 } 1/3 \text{ 倍频带。}$$

第十步

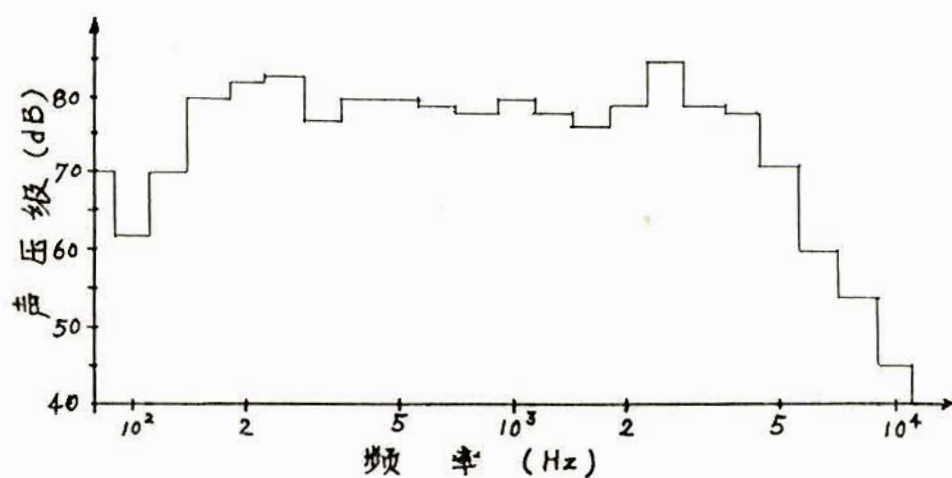
由第九步确定的 C 中的最大值作为纯音修正量。

(2) 求纯音修正量 C 的一个具体例子

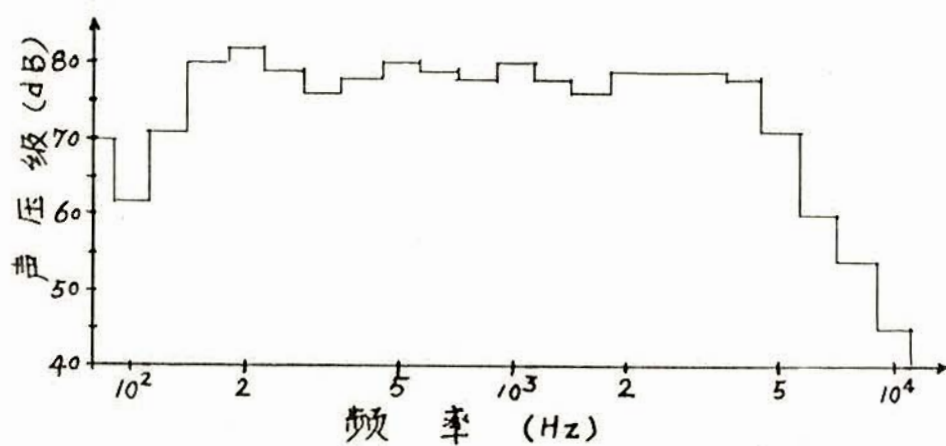
频带	f_i	第三步 L_i	第四步和第五步 $D_{j,i}$	第四步 L_i	第五步 $D_{j,i}$	第六步 $\overline{D}_{j,i}$	第七步 $\overline{L}_i$	第八步 F_i	第九步 C_i	第十步 C
1	80	70	-8	70	-8	-7/3	70	-	-	2
2	100	62	-8	62	-8	+10/3	67 2/3	-	-	
3	125	50	+10	(71)	+9	+20/3	71	-	-	
4	160	80	+2	80	+2	+8/3	77 2/3	+7/3	7/18	
5	200	82	+1	82	+2	-4/3	80 1/3	+4/3	4/18	
6	250	63	-7	(79)	-3	-4/3	79	+4	4/6	
7	315	76	-3	76	-3	+1/3	77 2/3	-	-	
8	400	60	0	(78)	+2	+1	78	+2	2/6	
9	500	80	-1	80	-1	0	79	+1	1/3	
10	630	79	-1	79	-1	0	79	-	-	
11	800	78	+2	78	+2	-1/3	79	-	-	
12	1000	80	-2	80	-2	-2/3	78 2/3	+4/3	4/9	
13	1250	78	-2	78	-2	-1/3	78	-	-	
14	1600	76	+3	76	+3	+1/3	77 2/3	-	-	
15	2000	79	+6	79	0	+1	78	+1	1/3	
16	2500	85	-6	(79)	0	-1/3	79	+6	2	
17	3150	79	-1	79	-1	-8/3	78 2/3	+1/3	1/9	
18	4000	78	-7	78	-7	-19/3	76	+2	2/3	
19	5000	71	-11	71	-11	-8	69 2/3	+4/3	4/9	
20	6300	60	-6	60	-6	-26/3	61 2/3	-	-	
21	8000	54	-9	54	-9	-8	53	+1	1/6	
22	10000	45	-	45	-	-	45	-	-	

附表 2. 求纯音修正量 C 的一个具体示例

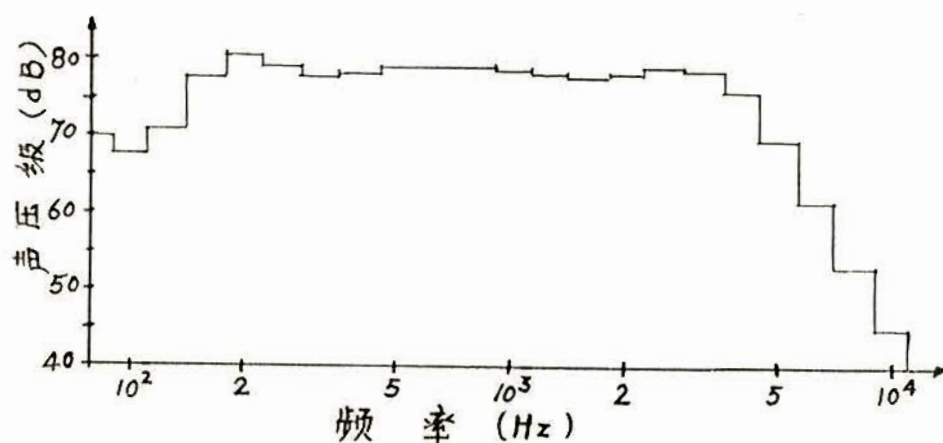
(3)附表 2 中频谱平滑过程



附图 2. 反频谱



附图 3. 经过第一次平滑以后的频谱



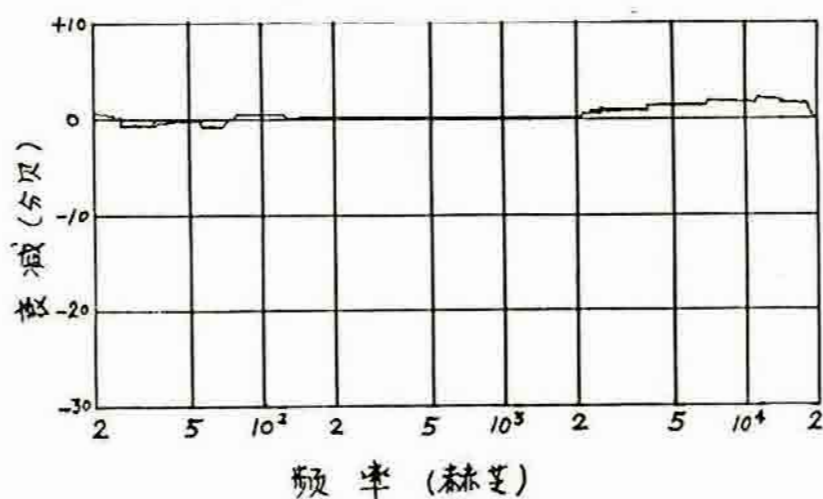
附图 4. 经过第 = 次顺滑以后的频谱

附录 3. Nagra IV 型录音机的频响

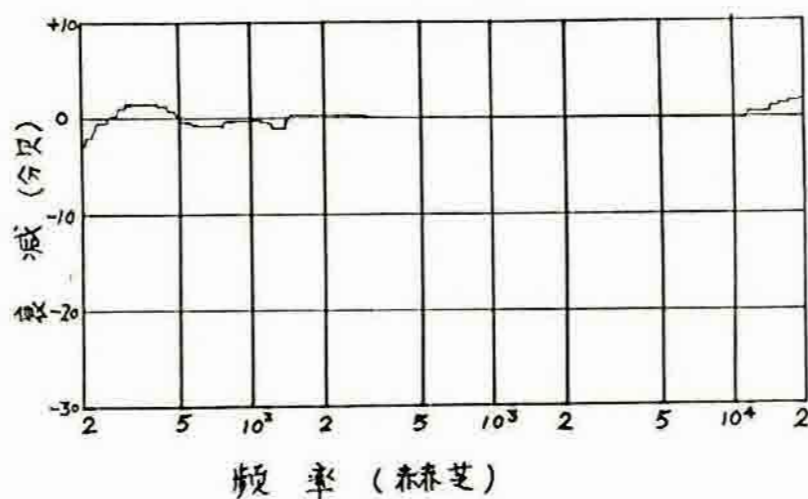
Nagra IV 型录音机配用西德 BASF 型磁带, 记录速度分别为 7.5"/秒和 15"/秒时它的频响曲线分别见附图 6 和附图 7。频响曲线测试原理见附图 5。这时, B&K 2307 型电平记录仪用 RMS 电压记录, 下限频率 10 Hz, 描写速度 200 毫米/秒。



附图 5. 录音机频响曲线测试原理



附图6. Nagra IV型录音机与 BASF磁带组成的记录系统的频响
带速 75"/秒



附图7. Nagra IV型录音机与 BASF磁带组成的记录系统的频响
带速 15"/秒

七. 参考文献

1. "环境声学及噪声控制", 上册, 同济大学声学研究室。PP(1-1), PP(5-27), PP(5-28)。
2. J.B. Ollerhead, "Scaling Aircraft Noise Perception," J. Sound Vib. (1973) 26(3), PP361~388.
3. N.S. Yeoward, "An Acceptable Exposure Level for Aircraft Noise in Residential Communities," J. Sound Vib. (1972) 25(2), PP245~254.
4. D.W. Robinson, "Towards a Unified System of Noise Assessment," J. Sound Vib. (1971) Vol.14. PP279.
5. I.D. Griffiths and F.J. Landon, "Subjective Response to Traffic Noise," J. Sound Vib. (1968) Vol. 8. PP16.
6. K. D. Kryter and K.S. Pearsons, "Some Effects of Spectral Content and Duration on Perceived Noise Level," J. Acoust. Soc. Am. Vol.35, 1963, PP866.
7. K.D. Kryter and K.S. Pearsons, "Modification of Noy Table," J. Acoust. Soc. Am. Vol.36, 1964, PP394.
8. E.B. Margrab, "Environmental Noise Control," 1975, John Wiley & Sons Inc. PP48~83, 88~95.
9. C.G. Rice and J.G. Walker, "An Advanced Course in Noise and Vibration," 1972.9, Southampton, Eng. Univ. Institute of Sound and Vibration Research. Chapter 17.

10. BRÜEL & KJÆR, "Airport Noise Monitoring Systems," DK-2850 NÆRUM, DENMARK.

11. "Acoustic Measurements Using the Digital Frequency Analyzer Type 2131 with a Desk-top Calculator ——— BL 0011 and BL 0012: Program Descriptions for Programs BZ 0011 and BZ 0012," 1978, B&K, Application Notes.

12. Lance A. Leventhal, "Z 80 Assembly Language Programming," 1979, Adam Osborne & Associates, Inc.

13. 周明德, "微型计算机硬件软件及其应用," 1983, 清华大学出版社。PP86~88。

14. ADI J. Khambata, "Microprocessors / Microcomputers," 1982, John Wiley & Sons, Inc.

15. Bruce A. Artwick, "Microcomputer Interfacing," 1980, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J. 07632. Chapter 2.

16. "Instruction Manual Type 2131," 1978, B&K.

17. 姜庚酉, "城市交通噪声大屏幕数字显示自动监测仪(F)," 1983.10, 第=卷, 上海环境科学。

18. "Precision Sound Level Meters," IEC Publication 179, 1973.

19. "Octave, Half-Octave and Third-Octave Band Filters Intended for the Analysis of Sounds and Vibrations," IEC Publication 225, 1966.

20. "Acoustics — Preferred Frequencies of Measurements," ISO/266-

1975(E) .

21. "Acoustics — Procedure for Describing Aircraft Noise Heard on the Ground," ISO/3891-1978(E) .

22. "Outdoor Microphone Unit Type 4921 — Service Instructions," June 1980, B&K .

23. G. B. Clayton, "Operational Amplifiers," 1979, © Butterworth & Co (Publishers) Ltd. PP 169~204, 318~329 .

24. Walter G. Jung, "IC OP-Amp Cookbook," 1981, Howard W. Sams & Co., Inc. PP 204~291 .

25. Robert G. Irvine, "Operational Amplifier — Characteristics and Applications," 1981, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ 07632. PP 173~177, PP 221~237 .

26. D. A. Fraser, "The Physics of Semiconductor Devices," 1979, J. W. Arrowsmith Ltd. Bristol BS3 2NT. PP 59~63 .

27. Siliconix, "Analog Switches and Their Applications," 1976, Silicon Incorporated. Chapter 2~3, Chapter 7 .

28. Herbert Tanb, "Digital Circuits and Microprocessors," 1982, McGraw-Hill, Inc. .

29. Joseph J. Carr, "Z80 Users Manual," 1980, Resto Publishing Company, Inc. .

30. Rodney Zaks, "Programming the Z80," 1982, Sybex Inc. .

科 作 业

第 页

中 年 级 班 座 号 学 生 年 月 日

1. 内容中详细摘要出错处: ① 中文部分: P4. 图2中箭头漏了. P5. 2~3: 计→机, 进→进机. ② 英文部分: P3. 7. by→be

2. 论文正文出错处: ① 内容提要的中文和英文改写. ② 论文正文: P7. 9. 具→具. P11. 6. $2 \times 10^{+5} \rightarrow 2 \times 10^{-5}$. P32. -1. 在→掘将.

P36. 3 其中→上述. P41. 表3-7. LTPN → LpNeg

正文 Piii. 3. ~~研究~~ ^{分析} → ~~研究~~ ^{研究}, Piii. 6. 讨论 → 设计, “和” → 并解决了
Piii. 7. 讨论 → 研究.

P1. -8*

P4. -2

P5. +1, +3*

P9. +6*

P10. -5, -4, -2, -1, -6

P12. +3 (文献[17]).

P14. 图

P20. +4

P29. -9

P55. +5, +1

<论文不足处的页次>

111

注: 不改处用*表示

P2. -10

P3. -5, -3

P4. -10, +1, -6

P5. +7, +13, -3

<论文要点的页次>

111

堪 误 表

页, 行	错误	正确
7, 9	具	具
11, 6	2×10^5	2×10^{-5}
32, 倒1	在	将
36, 3	其中	上述

41 表 3-7

LTPN

LpNeg